

10 / 53483

PCT/JP2004/007136

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

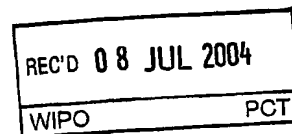
13 MAY 2005
19.05.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2004年 1月26日

出 願 番 号
Application Number: 特願2004-017655
[ST. 10/C]: [JP2004-017655]



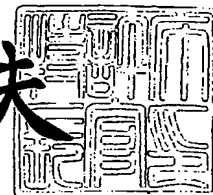
出 願 人
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 6月21日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3055142

Best Available Copy

【書類名】 特許願
【整理番号】 2022050189
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02B 6/122
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内
 【氏名】 浜田 英伸
【特許出願人】
 【識別番号】 000005821
 【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100098291
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 小笠原 史朗
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 035367
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9405386

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

外部から入射する信号光を伝送し、伝送した信号光を外部へ出射する光デバイスであって、

第 1 方向に屈折率分布を含み、信号光を複数の光路によって前記第 1 方向に直交する第 2 方向に伝送可能な光伝送路を備え、

前記光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び前記光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方は、前記第 2 方向と平行でなく、

前記複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に前記光伝送路へ入射する二つの光路は、前記光伝送路へ入射する位相差と前記光伝送路から出射する位相差とが等しいことを特徴とする光デバイス。

【請求項 2】

前記光伝送路へ信号光を入射するための入射部と、

前記光伝送路から信号光を出射するための出射部とを備え、

前記入射部及び前記出射部の内、少なくとも一方は、内部を伝送する信号光の光軸が、前記第 2 方向と平行でない方向になるように、前記光伝送路と結合する、請求項 1 に記載の光デバイス。

【請求項 3】

前記入射部及び前記出射部の内、少なくとも一方は、内部を伝送する信号光の光軸が、前記第 2 方向と直交するように、前記光伝送路と結合している、請求項 2 に記載の光デバイス。

【請求項 4】

前記二つの光路は、伝送される信号光の波長の整数倍に等しい光学的な光路長差を持つ、請求項 2 に記載の光デバイス。

【請求項 5】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を m 個 ($m = 1, 2, 3, \dots$) 含み、

前記 m 個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい、請求項 4 に記載の光デバイス。

【請求項 6】

前記光伝送路は、

前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 5 に記載の光デバイス。

【請求項 7】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第 1 及び前記第 2 反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項 6 に記載の光デバイス。

【請求項 8】

前記シート状光伝送路において、

前記第 1 反射面により信号光のすべてが前記第 2 方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第 2 反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の j 倍 ($j = 0, 1, 2, 3, \dots$) に等しい、請求項 6 に記載の光デバイス。

【請求項 9】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を n 個 ($n = 2, 3, 4$

・・・) 含み、

前記 n 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和が、ゼロである、請求項 4 に記載の光デバイス。

【請求項 10】

前記光伝送路は、

前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 9 に記載の光デバイス。

【請求項 11】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第 1 及び前記第 2 反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項 10 に記載の光デバイス。

【請求項 12】

前記シート状光伝送路において、

前記第 1 反射面により信号光のすべてが前記第 2 方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第 2 反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j + 0.5)$ 倍 ($j = 0, 1, 2, 3, \dots$) に等しい、請求項 10 に記載の光デバイス。

【請求項 13】

前記二つの光路は、光学的な光路長差がゼロである、請求項 2 に記載の光デバイス。

【請求項 14】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を n 個 ($n = 2, 3, 4, \dots$) 含み、

前記 n 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和が、ゼロである、請求項 13 に記載の光デバイス。

【請求項 15】

前記光伝送路は、

前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 14 に記載の光デバイス。

【請求項 16】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第 1 及び前記第 2 反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項 15 に記載の光デバイス。

【請求項 17】

前記シート状光伝送路において、

前記第 1 反射面により信号光のすべてが前記第 2 方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第 2 反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j + 0.5)$ 倍 ($j = 0, 1, 2, 3, \dots$) に等しい、請求項 15 に記載の光デバイス。

【請求項 18】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない、請求項 13 に記載の

光デバイス。

【請求項 19】

前記光伝送路は、

前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 18 に記載の光デバイス。

【請求項 20】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記中心部における前記第 1 反射面と前記第 2 反射面との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $j/2$ 倍 ($j = 0, 1, 2, 3 \dots$) に等しく、

信号光は、前記第 1 反射面及び第 2 反射面上の、前記光伝送路の第 1 方向の厚さが半分となる中心部で、前記第 1 方向及び第 2 方向に共に直交する第 3 方向に平行な線状に集光される、請求項 19 に記載の光デバイス。

【請求項 21】

外部から入射する信号光を伝送し、伝送した信号光をマルチモード干渉によって所定の位置から外部へ出射する光デバイスであって、

第 1 方向に屈折率分布を含み、信号光を前記第 1 方向に直交する第 2 方向に伝送可能であり、前記第 1 方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路と、

前記シート状光伝送路へ信号光を入射するための M 個 ($M = 1, 2, 3 \dots$) の入射部と、

前記シート状光伝送路から信号光を出射するための N 個 ($N = 1, 2, 3 \dots$) の出射部とを備え、

前記 M 個の入射部及び前記 N 個の出射部は、内部を伝送する信号光の光軸が前記第 2 方向と平行でない方向に前記シート状光伝送路と結合する少なくとも一つの非平行入出射部を含み、

前記非平行入出射部と対応する前記入射部又は前記出射部との間を伝送する信号光の複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に前記シート状光伝送路へ入射する二つの光路は、前記シート状光伝送路へ入射する位相差と前記シート状光伝送路から出射する位相差とが等しく、

前記 M 個の入射部及び前記 N 個の出射部は、すべて所定のマルチモード干渉の Self-Imaging の効果の条件を満足する位置に配置されていることを特徴とする光デバイス。

【請求項 22】

前記非平行入出射部は、内部を伝送する信号光の光軸が、前記第 2 方向と直交するように、前記光伝送路と結合する、請求項 21 に記載の光デバイス。

【請求項 23】

前記二つの光路は、伝送される信号光の波長の整数倍に等しい光学的な光路長差を持つ、請求項 21 に記載の光デバイス。

【請求項 24】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を m 個 ($m = 1, 2, 3 \dots$) 含み、

前記 m 個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい、請求項 23 に記載の光デバイス。

【請求項 25】

前記シート状光伝送路は、

前記第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項24に記載の光デバイス。

【請求項26】

前記シート状光伝送路は、

前記第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、

前記第2方向に伝送した信号光の光軸を、前記第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第1及び前記第2反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項25に記載の光デバイス。

【請求項27】

前記シート状光伝送路において、

前記第1反射面により信号光のすべてが前記第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の j 倍 ($j = 0, 1, 2, 3 \dots$) に等しい、請求項25に記載の光デバイス。

【請求項28】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を n 個 ($n = 2, 3, 4 \dots$) 含み、

前記 n 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和が、ゼロである、請求項23に記載の光デバイス。

【請求項29】

前記シート状光伝送路は、

前記第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項28に記載の光デバイス。

【請求項30】

前記シート状光伝送路は、

前記第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、

前記第2方向に伝送した信号光の光軸を、前記第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第1及び前記第2反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項29に記載の光デバイス。

【請求項31】

前記シート状光伝送路において、

前記第1反射面により信号光のすべてが前記第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j + 0.5)$ 倍 ($j = 0, 1, 2, 3 \dots$) に等しい、請求項29に記載の光デバイス。

【請求項32】

前記二つの光路は、光学的な光路長差がゼロである、請求項21に記載の光デバイス。

【請求項33】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を n 個 ($n = 2, 3, 4 \dots$) 含み、

前記 n 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和が、ゼロである、請求項32に記載の光デバイス。

【請求項34】

前記シート状光伝送路は、

前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 33 に記載の光デバイス。

【請求項 35】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記光路長差発生部は、前記第 1 及び前記第 2 反射面により反射される前記二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である、請求項 34 に記載の光デバイス。

【請求項 36】

前記シート状光伝送路において、

前記第 1 反射面により信号光のすべてが前記第 2 方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが前記第 2 反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、前記屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j + 0.5)$ 倍 ($j = 0, 1, 2, 3, \dots$) に等しい、請求項 34 に記載の光デバイス。

【請求項 37】

前記二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない、請求項 32 に記載の光デバイス。

【請求項 38】

前記シート状光伝送路は、

前記第 1 方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、前記中心部から第 1 方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む、請求項 37 に記載の光デバイス。

【請求項 39】

前記シート状光伝送路は、

前記第 2 方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、前記第 2 方向へ折り曲げるための第 1 反射面と、

前記第 2 方向に伝送した信号光の光軸を、前記第 2 方向と平行でない方向へ折り曲げるための第 2 反射面とを含み、

前記中心部における前記第 1 反射面と前記第 2 反射面との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $j/2$ 倍 ($j = 0, 1, 2, 3, \dots$) に等しく、

信号光は、前記第 1 反射面及び第 2 反射面上の、前記光伝送路の第 1 方向の厚さが半分となる中心部で、前記第 1 方向及び第 2 方向に共に直交する第 3 方向に平行な線状に集光される、請求項 38 に記載の光デバイス。

【書類名】明細書

【発明の名称】光デバイス

【技術分野】

【0001】

本発明は、屈折率分布を有する光伝送路を備えた光デバイスに関し、より特定的には、光通信システム等で用いられるマルチモード干渉光分岐器やマルチモード干渉光合成器、あるいは光データバスシート等に好適な光デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

光通信システム等に好適な、光伝送路を用いた光デバイスの研究が行われている。このような光デバイスは、光回路間のデータ交換のための光データバスシートへの応用や、信号光を分岐する光分岐器や信号光を合成するための光合成器への応用が期待されている。光伝送路のうち、マルチモードの光伝送路は、シングルモードの光伝送路と比較して安価であるため、旧来の電子回路の置き換えが可能である。

【0003】

ところが、マルチモードの光伝送路を均質な媒質で構成した場合、信号光を伝送すると、モード毎に物理的な光路長が異なってしまう。このため、光伝送路の長さに依存して出射される光の強度分布が変化する現象（以下、この現象をモード分散という）が発生する。

【0004】

また、マルチモードの光伝送路の長さが100mmを超える程度に長くなる場合は、光路ごとに群速度が相違するため、伝送される光の信号波形が変化してしまう現象（以下、この現象を差動分散という）が発生する。モード分散や差動分散が発生すると、入射光の強度分布を出射側へ保持したまま伝送することができない。

【0005】

上記のような問題を解決するために、屈折率分布が施された光伝送路が提案されている。屈折率分布を持つ媒質中を伝搬する信号光は、屈折率分布に基づき曲線状の光線軌跡を描く。この現象を応用すると、各光路間で物理的な光路長が相違しても、屈折率の差によって光学的な光路長を等しくできる。したがって、屈折率分布を適切に設定することにより、モード分散及び差動分散が発生しないマルチモードの光伝送路を得ることができる。

【0006】

例えば、特許文献1は、積層されたシート状光伝送路を備え、それぞれのシート状光伝送路が積層される方向に屈折率分布を有する光デバイスを記載している。特許文献1に記載されたシート状光伝送路は、屈折率分布によってモード分散や差動分散が発生しないので、マルチモードでギガビットクラスの高周波信号を伝送することができる。

【0007】

このような光デバイスでは、シート状光伝送路に信号光を入射し、シート状光伝送路から信号光を出射するための構成が必要となる。上述の特許文献1に記載された光デバイスにおいて、信号光は、シート状光伝送路の一方の端部から信号光の伝送方向に平行に入射され、シート状光伝送路の他方の端部から信号光の伝送方向に平行に出射する（特許文献1の図1、図9）。

【0008】

また、光導波路（シート状光伝送路）に信号光の光軸を垂直に折り曲げるためのミラーを設け、外部と光導波路とを結合する技術が知られている（特許文献2の第1図、第2図）。特許文献2に記載された光導波路において、伝送方向に対して垂直な方向から入射する信号光は、信号光の伝送方向に対して45度の角度をなすミラーによって折り曲げられ光導波路に入射する。また、光導波路を伝送した信号光は、信号光の伝送方向に対して45度の角度をなすミラーによって折り曲げられ、伝送方向に対して垂直な方向へ出射する（特許文献2の第1図、第2図参照）。

【特許文献1】特開2000-111738号公報（図1、図9）

出証特2004-3055142

【特許文献2】特開昭62-35304号公報（第1図、第2図）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

特許文献1に記載された技術のように、信号光の入射方向とシート状光伝送路の光の伝送方向とを一致させると、入射部分とシート状光伝送路とを損失なく結合することができる。すなわち、シート状光伝送路へ入射する信号光の強度ピークと、シート状光伝送路の屈折率分布とを調整することが容易であるため、入射時の信号光のロスを小さくすることができる。

【0010】

しかしながら、光デバイスは、入射側にレーザなどの光部品を実装し、出射側にセンサーなどの光部品を実装する必要がある。このため、これらの光部品とシート状光伝送路とを結合する際に、光部品とシート状光伝送路との間の高さを調整する必要が生じ、光部品の実装に際して嵩上げを行わなければならないという問題があった。したがって、光デバイスをコンパクトにできなかった。

【0011】

一方、特許文献2は、屈折率分布を備えていないシングルモードのシート状光伝送路に関する技術である。このため、特許文献2に記載された光導波路では、モード分散や差動分散が発生し、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送できないという問題があった。

【0012】

また、近年、マルチモード干渉を用いて、信号光を生成する光デバイスが提案されている。マルチモード干渉を用いると、入射した信号光を複数の信号光に分岐する光分岐器や、入射した複数の信号光を単一の信号光に合成する光合成器を、簡単に得ることができる。しかしながら、特許文献1及び特許文献2のいずれにも、マルチモード干渉に関する記載は認められない。

【0013】

そこで、本発明の第1の目的は、光部品の実装が簡単にでき、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することが可能な光デバイスを提供することである。

【0014】

また、本発明の第2の目的は、光部品の実装が簡単にでき、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することが可能で、さらに、マルチモード干渉を用いて信号光を出射することができる光デバイスを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記第1の目的は、以下の構成を備えた光デバイスにより達成される。

外部から入射する信号光を伝送し、伝送した信号光を外部へ出射する光デバイスであって、

第1方向に屈折率分布を含み、信号光を複数の光路によって第1方向に直交する第2方向に伝送できる光伝送路を備え、

光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方は、第2方向と平行でなく、

複数の光路の内、信号光の光軸に関して互に対称に光伝送路へ入射する二つの光路は、光伝送路へ入射する位相差と光伝送路から出射する位相差とが等しい。

【0016】

以上の構成によれば、本発明に係る光デバイスは、第1方向に屈折率分布を含み、信号光を複数の光路によって第1方向に直交する第2方向に伝送できる光伝送路を備えているから、モード分散及び差動分散を発生させず、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することができる。

【0017】

また、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方は、第2方向と平行でないので、光部品の実装に際して嵩上げをしなくてもよい。したがって、光デバイスの全体構成をコンパクトにできる。

【0018】

さらに、信号光の複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に光伝送路へ入射する二つの光路は、光伝送路へ入射する位相差と光伝送路から出射する位相差とが等しいので、入射の際の信号光の強度分布をそのまま信号光として出射できる。すなわち、光伝送路により位相差が発生しないので、入射した強度分布のまま光伝送路から出射することができ、光伝送路から信号光を損失なく出射できる。

【0019】

好ましくは、光デバイスは、以下の構成を備える。

光伝送路へ信号光を入射するための入射部と、

光伝送路から信号光を出射するための出射部とを備え、

入射部及び出射部の内、少なくとも一方は、内部を伝送する信号光の光軸が、第2方向と平行でない方向になるように、光伝送路と結合する。

この構成により、入射部又は出射部を、光伝送路の伝送方向端面に設ける必要がなくなる。したがって、光部品の実装に際して嵩上げをしなくてもよい。

【0020】

好ましくは、入射部及び出射部の内、少なくとも一方は、内部を伝送する信号光の光軸が、第2方向と直交するように、光伝送路と結合している。

この構成により、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。例えば、光伝送路へ入射する信号光を発光する発光素子や光伝送路から出射した信号光を受光する受光素子などの光部品と、光伝送路とを結合する際に、光部品を簡単に実装できる。

【0021】

好ましくは、上述の二つの光路は、伝送される信号光の波長の整数倍に等しい光学的な光路長差を持つ（以下、構成Aという）。構成Aを具備していることにより、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0022】

構成Aにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を m 個（ $m=1, 2, 3, \dots$ ）含み、 m 個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい（以下、構成1という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0023】

構成1において、好ましくは、光伝送路は、第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

【0024】

構成1において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第1方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第1方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0025】

構成1において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送され

る光路の蛇行周期の j 倍 ($j = 0, 1, 2, 3 \dots$) に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0026】

構成Aにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を n 個 ($n = 2, 3, 4 \dots$) 含み、 n 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和がゼロである（以下、構成2という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0027】

構成2において、好ましくは、光伝送路は、第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

【0028】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第2方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第2方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0029】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j + 0.5)$ 倍 ($j = 0, 1, 2, 3 \dots$) に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0030】

好ましくは、上述の二つの光路は、光学的な光路長差がゼロである（以下、構成Bという）。構成Bを具備していることにより、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0031】

構成Bにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を n 個 ($n = 2, 3, 4 \dots$) 含み、 n 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和がゼロである（以下、構成2という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0032】

構成2において、好ましくは、光伝送路は、第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

【0033】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第2方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第2方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0034】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j+0.5)$ 倍($j=0, 1, 2, 3, \dots$)に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0035】

構成Bにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない(以下、構成3という)。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0036】

構成3において、好ましくは、光伝送路は、第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路であり、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。

【0037】

構成3において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含み、中心部における第1反射面と第2反射面との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $j/2$ 倍($j=0, 1, 2, 3, \dots$)に等しく、信号光は、第1反射面及び第2反射面上の、光伝送路の第1方向の厚さが半分となる中心部で、第1方向及び第2方向に共に直交する第3方向に平行な線状に集光される。

【0038】

この構成により、中心部における第1反射面と第2反射面との間が、光学的に共役関係となる。このため、第1反射面と第2反射面との間で、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない。したがって、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0039】

また、上記第2の目的は、以下の構成を備えた光デバイスにより達成される。

外部から入射する信号光を送し、伝送した信号光をマルチモード干渉によって所定の位置から外部へ出射する光デバイスであって、

第1方向に屈折率分布を含み、信号光を前記第1方向に直交する第2方向に伝送可能であり、前記第1方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路と、

前記シート状光伝送路へ信号光を入射するためのM個($M=1, 2, 3, \dots$)の入射部と、

前記シート状光伝送路から信号光を出射するためのN個($N=1, 2, 3, \dots$)の出射部とを備え、

前記M個の入射部及び前記N個の出射部は、内部を伝送する信号光の光軸が前記第2方向と平行でない方向に前記シート状光伝送路と結合する少なくとも一つの非平行入出射部を含み、

前記非平行入出射部と対応する前記入射部又は前記出射部との間を伝送する信号光の複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に前記シート状光伝送路へ入射する二つの光路は、前記シート状光伝送路へ入射する位相差と前記シート状光伝送路から出射する位相差とが等しく、

前記M個の入射部及び前記N個の出射部は、すべて所定のマルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件を満足する位置に配置されていることを特徴とする。

【0040】

以上の構成によれば、本発明に係る光デバイスは、第1方向に屈折率分布を含み、信号光を複数の光路によって第1方向に直交する第2方向に伝送できる光伝送路を備えている

から、モード分散及び差動分散を発生させず、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することができる。

【0041】

また、非平行入射部を含むので、光部品の実装に際して嵩上げをしなくてもよい。したがって、光デバイスの全体構成をコンパクトにできる。

【0042】

また、信号光の複数の光路の内、信号光の光軸に関して互いに対称に光伝送路へ入射する二つの光路は、光伝送路へ入射する位相差と光伝送路から出射する位相差とが等しいので、入射の際の信号光の強度分布をそのまま信号光として出射できる。すなわち、光伝送路により位相差が発生しないので、入射した強度分布のまま光伝送路から出射することができ、光伝送路から信号光を損失なく出射できる。

【0043】

さらに、M個の入射部及びN個の出射部は、すべて所定のマルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件を満足する位置に配置されているので、マルチビーム干渉を用いて信号光を制御することができる。したがって、光分岐器や光合成器といった光デバイスを得ることができる。

【0044】

好ましくは、非平行入射部は、内部を伝送する信号光の光軸が、第2方向と直交するように、光伝送路と結合する。この構成により、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。例えば、光伝送路へ入射する信号光を発光する発光素子や光伝送路から出射した信号光を受光する受光素子などの光部品と、光伝送路とを結合する際に、光部品を簡単に実装できる。

【0045】

好ましくは、上述の二つの光路は、伝送される信号光の波長の整数倍に等しい光学的な光路長差を持つ（以下、構成Aという）。構成Aを具備していることにより、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0046】

構成Aにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部をm個（ $m=1, 2, 3 \dots$ ）含み、m個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい（以下、構成1という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0047】

構成1において、好ましくは、光伝送路は、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

【0048】

構成1において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第1方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第1方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0049】

構成1において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期のj倍（ $j=0, 1, 2, 3 \dots$ ）に等しい。この構成により、信号

光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0050】

構成Aにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を n 個 ($n=2, 3, 4 \dots$) 含み、 n 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和がゼロである（以下、構成2という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0051】

構成2において、好ましくは、光伝送路は、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

【0052】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第2方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第2方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0053】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j+0.5)$ 倍 ($j=0, 1, 2, 3 \dots$) に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0054】

好ましくは、上述の二つの光路は、光学的な光路長差がゼロである（以下、構成Bという）。構成Bを具備していることにより、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0055】

構成Bにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を n 個 ($n=2, 3, 4 \dots$) 含み、 n 個の光路長差発生部で発生する光路長差の和がゼロである（以下、構成2という）。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0056】

構成2において、好ましくは、光伝送路は、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送する。

【0057】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含んでおり、光路長差発生部は、第1及び第2反射面により反射される二つの光路の屈折率履歴が異なる部分である。

この構成により、第2方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、及び第2方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0058】

構成2において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路において、第1反射面により信号光のすべてが第2方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが第2反射面に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j+0.5)$ 倍($j=0, 1, 2, 3, \dots$)に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0059】

構成Bにおいて、好ましくは、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない(以下、構成3という)。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0060】

構成3において、好ましくは、光伝送路は、第1方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を含む。

【0061】

構成3において、好ましくはさらに、上述のシート状光伝送路は、第2方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、第2方向へ折り曲げるための第1反射面と、第2方向に伝送した信号光の光軸を、第2方向と平行でない方向へ折り曲げるための第2反射面とを含み、中心部における第1反射面と第2反射面との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $j/2$ 倍($j=0, 1, 2, 3, \dots$)に等しく、信号光は、第1反射面及び第2反射面上の、光伝送路の第1方向の厚さが半分となる中心部で、第1方向及び第2方向に共に直交する第3方向に平行な線状に集光される。

【0062】

この構成により、中心部における第1反射面と第2反射面との間が、光学的に共役関係となる。このため、第1反射面と第2反射面との間で、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない。したがって、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【発明の効果】

【0063】

本発明によれば、光部品の実装が簡単にでき、ギガビットクラスの高周波の信号光を伝送することが可能な光デバイスを提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0064】

(第1の実施形態)

図1(a)は、本発明の第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の斜視図である。また、図1(b)は、マルチモード干渉二分岐器100の正面図である。図1(a)において、座標系を図中に示すように定め、紙面の下方向をy方向と、紙面の右向きをz方向と、y方向及びz方向に垂直な方向をx方向と定義する。

【0065】

マルチモード干渉二分岐器100は、シート状光伝送路101と、入射部104と、出射部105及び出射部106と、電気用基板107と、電気用基板108とを備える。シート状光伝送路101は、y方向の正の方向に沿って、電気用基板107と、シート状光伝送路101と、電気用基板108とを順に積層した3層構造を備えている。

【0066】

シート状光伝送路101は、y方向(厚さ方向)の厚さがdで、zx平面に対して平行な2次元光伝送路である。シート状光伝送路101は、外部から入射した信号光をy方向に閉じこめ、z方向(伝送方向)に伝送可能である。シート状光伝送路101は、z方向の両端に反射面102及び反射面103を持つ。

【0067】

反射面102は、z方向の一方の端部に形成される。反射面102は、y方向の正方向

に沿って入射する信号光を、 z 方向の正方向へ折り曲げるように、 zx 平面に対して 45° の角度をなす反射面である。

【0068】

反射面103は、入射側に対して反対側である z 方向の他方の端部に形成される。反射面103は、 z 方向の正方向に沿って伝送する信号光を y 方向の負方向へ折り曲げるように、 zx 平面に対して 45° の角度をなす反射面である。

【0069】

シート状光伝送路101は、 y 方向に屈折率分布を持つ。シート状光伝送路101は、 y 方向の厚さが半分の $d/2$ の位置にある zx 方向に平行な面（以下、中心部101aという）が最大屈折率 n_0 である。シート状光伝送路101は、中心部101aを対称面として、中心部101aからそれぞれ電気用基板107及び電気用基板108に向けて連続的に屈折率が減少していく屈折率分布を持つ。

【0070】

また、シート状光伝送路101は、 zx 平面に平行な面内の屈折率が常に等しい。すなわち、シート状光伝送路101は、 y 方向にのみ屈折率分布を持ち、他の方向には屈折率分布を持たない。

【0071】

電気用基板107及び電気用基板108は、平板状である。電気用基板107は、発光素子110と、受光素子111と、受光素子112とを含む。

【0072】

発光素子110は、信号光を発生させるための面発光レーザである。面発光レーザは、信号光となるレーザが y 方向の正方向に発振するように配置される。

【0073】

また、受光素子111及び受光素子112は、信号光を受光するフォトダイオードである。フォトダイオードは、 y 方向の負方向に沿って伝送される信号光を受光するように配置される。電気用基板107及び電気用基板108は、その他光デバイスを駆動するために必要な図示しない電気部品や光部品を実装する。

【0074】

電気用基板107は、発光素子110に対応する位置に円筒状の貫通孔であるスルーホールを有する。このスルーホールの内部には、円筒状の入射部104が形成されている。また、電気用基板107は、受光素子111に対応する位置に円筒状の貫通孔であるスルーホールを有する。

【0075】

このスルーホールの内部には、円筒状の出射部105が形成されている。同様に、電気用基板107は、受光素子112に対応する位置に円筒状の貫通孔であるスルーホールを有する。このスルーホールの内部には、円筒状の出射部106が形成されている。

【0076】

入射部104は、シート状光伝送路101を構成する材料と同じ材料で作成される。入射部104は、円筒の中心軸に関して軸対称な屈折率分布を持ち、円筒の中心軸を最大屈折率 n_0 とし、中心軸対称に中心軸から周辺へ離れるに従って連続的に屈折率が増加しない屈折率分布を持つ。入射部104の y 方向の長さは、信号光をシート状光伝送路101に平行光として入射するように決定されている。

【0077】

入射部104と、出射部105及び出射部106とは、いずれも等しい構造である。また、入射部104と、出射部105と、出射部106とは、いずれもシート状光伝送路101と接着されている。入射部104と、出射部105と、出射部106とは、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件に従って所定位置に形成される。なお、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果の条件については、後述する。

【0078】

上記の構成において、発光素子110の面発光レーザの発光点から発振した信号光は、

入射部 104 に入射し、y 方向の正方向に進行する。その後、信号光は、入射部 104 からシート状光伝送路 101 に入射し、反射面 102 で z 方向の正方向に折り曲げられ、シート状光伝送路 101 内を伝搬する。信号光は、シート状光伝送路 101 内で x 方向に拡散してマルチモードで z 方向の正方向に伝送される。その後、信号光は、反射面 103 で y 方向の負方向に折り曲げられる。

【0079】

ここで、入射部 104 と、出射部 105 と、出射部 106 とは、後述するマルチモード干渉の Self-Imaging の効果の条件に従って所定位置に形成されているので、信号光は、出射部 105 及び出射部 106 の位置で等エネルギーに二分割され、それぞれ出射部 105 及び出射部 106 に入射する。

【0080】

出射部 105 に入射した信号光は、出射部 105 から出射して受光素子 111 のフォトダイオードの受光面で検出される。同様に、出射部 106 に入射した信号光は、出射部 106 から出射して受光素子 112 のフォトダイオードの受光面で検出される。

【0081】

このように、出射部 106 は、出射部 105 と等しい構成を持ち、マルチモード干渉の Self-Imaging の効果の条件に従う所定位置に配置されている。このため、出射部 106 は、出射部 105 と等価であり、光学的な作用は等しい。したがって、以下の説明では、出射部 105 に基づいてのみ行い、出射部 106 の説明は同一であるため省略する。

【0082】

なお、入射部 104 と、出射部 105 と、出射部 106 とは、いずれも内部を伝送する信号光の光軸は、y 方向に平行であり、シート状光伝送路 101 の信号光の伝送方向である z 方向に直交している。したがって、入射部 104 と、出射部 105 と、出射部 106 とは、いずれも非平行入射部である。

【0083】

図 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 100 の信号光が伝送される部分の断面図である。図 2 は、シート状光伝送路 101 及び入射部 104 を図 1 (a) 中の C-D-G-H 面を含む平面で切断した断面の D-H 側と、シート状光伝送路 101 及び出射部 105 を図 1 (a) 中の E-F-I-J 面を含む平面で切断した断面の E-I 側を接続した断面図である。

【0084】

ここで、C-D-G-H 面を含む平面は、yz 面に平行であり入射部 104 の中心軸を含む平面である。また、E-F-I-J 面を含む平面は、yz 面に平行であり出射部 106 の中心軸を含む平面である。

【0085】

なお、図 2 において、等しい構成については図 1 と同じ符号を付している。図 2 において、発光素子 110 の発光点を発光点 110a と、受光素子 111 の受光面上の受光点を受光点 111a とする。

【0086】

第 1 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 100 では、信号光はシート状光伝送路 101 内で y 方向の正方向にのみ伝送される。このため、信号光の伝送方向の位相状態の議論を行う場合、信号光の x 方向の拡散は考慮しなくてよい。信号光の x 方向への拡散は、マルチモード干渉による信号光の強度分布の変化が原因であるためエネルギー伝搬を伴わず、信号光の x 方向には常に同位相となるからである。

【0087】

したがって、図 2 において、伝送方向の位相状態を議論する場合、図 1 中の xy 面に平行な D-E-H-I 面は無視してよく、図 2 の C-D-G-H 面の D-H 側と、E-F-I-J 面の E-I 側とを接続した媒質中に記載された光路は、信号光の光路と等価になる。このように、本明細書において、光路あるいは光路長という語を用いる場合、x 方向の

拡散は無視していることとする。

【0088】

図2において、発光点110aから発振する信号光は、発散光であるからさまざまな光路を軌跡とする光線を含む。発光点110aから発振する信号光のうち、特に、最も信号光の光軸から離れた位置に入射する二つの光路A及び光路Bを検討する。なお、光路Aは、入射部104に入射する信号光の光軸に関して光路Bと対称な関係にある。図2において、光路Aを実線で表し、光路Bを点線で表す。

【0089】

図2において、発光点110aからy方向の正方向に発振した信号光は、発散光として入射部104に入射する。入射部104は、前述したように中心軸対称に中心軸から周辺へ離れるに従って連続的に屈折率が増加しない屈折率分布を持つ。このため、入射部104に入射した信号光のうち、入射部104に90度以外の角度をなして入射した光線は、直線状には伝送されず蛇行しながら進行する。

【0090】

すなわち、光路Aに沿って伝送される光線は、屈折率の高い領域から屈折率の低い領域へ伝送され、次第にy方向に平行に曲げられる。光路Bに沿って伝送される光線も、屈折率の高い領域から屈折率の低い領域へ伝送され、次第にy方向に平行に曲げられる。

【0091】

ここで、入射部104は、信号光がシート状光伝送路101に入射する際に平行光（コリメータ光）となるようにy方向の長さが決められている。すなわち、光路Aが、光路Bに平行になるように、入射部104のy方向の物理的な長さが決定されている。したがって、信号光は、平行光としてシート状光伝送路101に入射する。

【0092】

光路Aは、シート状光伝送路101を垂直に横切って反射面102に達し、反射面102によってz方向の正方向に折り曲げられる。一方、光路Bは、すぐに反射面102に達し、反射面102によってz方向の正方向に折り曲げられる。光路Aが反射面102で折り曲げられることにより、すべての信号光がシート状光伝送路101のz方向の正方向に伝送される。その後、光路A及び光路Bは、屈折率分布に従って蛇行しながら進行する。

【0093】

光路Aは、反射面103に達し、反射面103によってy方向の負方向に折り曲げられる。一方、y方向の正方向に平行に入射した光路Bは、光路Aより遅れて反射面103に達し、反射面103によってy方向の負方向に折り曲げられる。

【0094】

このとき、シート状光伝送路101は、出射部105に出射する際に平行光となるようにz方向の構成が決められている。すなわち、光路Aが、光路Bに平行になるように、シート状光伝送路101の物理的な長さが決定されている。したがって、信号光は、平行光として出射部105に入射する。ここで、出射部105を伝送する信号光の光軸は、y方向に平行であり、シート状光伝送路101の信号光の伝送方向であるz方向に直交している。なお、シート状光伝送路101の構成は、後に詳述する。

【0095】

出射部105は、前述したように中心軸対称に中心軸から周辺へ離れるに従って連続的に屈折率が増加しない屈折率分布を持つ。このため、出射部105に入射した信号光のうち、中心軸から離れた部分に入射した信号光は、直線状には伝送されず蛇行しながら進行する。

【0096】

すなわち、光路Aは、屈折率の低い領域から屈折率の高い領域へ伝送され、次第に対称光軸に接近する方向に曲げられる。光路Bも、屈折率の低い領域から屈折率の高い領域へ伝送され、次第に対称光軸に接近する方向に曲げられる。

【0097】

ここで、出射部105は、屈折率分布及びy方向の物理的長さが入射部104と等しい

出射部105このため、信号光は収束光として出射部105から出射し、受光点111aで結像する。

【0098】

光路Aにおいて、光路Bが反射面102に達した位置に対応する位置から、光路Aが反射面102に達した位置までの物理的な光路長を L_{A1} と定義する。光路Bにおいて、光路Bが反射面102に達した位置から、光路Aが反射面102に達する位置に対応する位置までの物理的な光路長を L_{B1} とする。

【0099】

また、光路Aにおいて、光路Aが反射面103に達した位置から、光路Bが反射面103に達する位置に対応する位置までの物理的な光路長を L_{A2} と定義する。光路Bにおいて、光路Aが反射面103に達した位置に対応する位置から、光路Bが反射面103に達した位置までの物理的な光路長を L_{B2} とする。

【0100】

また、光路Aが反射面102に達した位置から、光路Aが反射面103に達する位置までの物理的な距離を伝送長 L と定義する。伝送長 L は、信号光が z 方向の正の方向に伝送される領域の物理的な長さに相当する。

【0101】

反射面102及び反射面103は、ともに光路を90度折り曲げるミラーとして機能するので、 y 方向及び z 方向の幾何学的形状は共通である。したがって、物理的な光路長 L_{A1} は、物理的な光路長 L_{B1} と等しい。同様に物理的な光路長 L_{A2} は、物理的な光路長 L_{B2} と等しい。

【0102】

しかしながら、物理的な光路長 L_{A1} に対応する光学的な光路長は、物理的な光路長 L_{B1} に対応する光学的な光路長と一致しない。これは、反射面102で反射した後で光学的な光路長が異なるため、光路Aを軌跡とする光線の位相は、光路Bを軌跡とする光線の位相と一致しないためである。すなわち、光路Aと光路Bとは位相差が生じる。このように、屈折率分布を含むシート状光伝送路に、伝送される方向に対して垂直でない反射面を設けると、反射面は光路長差発生部として機能する。

【0103】

光路Aと光路Bとは、位相差があるため、シート状光伝送路101の内部を伝送される信号光の強度ピーク位置がシフトする。光路Aが L_{A1} に対応する光路を伝送される間に信号光が感じる屈折率は、光路Bが L_{B1} に対応する光路を伝送される間に信号光が感じる屈折率よりも高い。

【0104】

この結果、光路Aは、光路Bよりも位相が遅れてしまう。したがって、図2からも明らかなように、両光路が交差する位置は、シート状光伝送路101の中心部101aとは一致せず、 y 方向の正側にシフトしている。

【0105】

また、シート状光伝送路101を z 方向に伝送される光線は、屈折率分布のために位相が乱れない。したがって、反射面102により発生した光路A及び光路Bの間の位相差は、そのまま反射面103へ伝送される。反射面103においても、同じメカニズムで、光路A及び光路Bの間に位相差を発生させる。

【0106】

反射面102で発生する位相差を定量化する。図3(a)は、シート状光伝送路101及び入射部104を、図1(a)中のC-D-G-H面を含む平面で切断した断面である。また、図3(b)は、シート状光伝送路101の屈折率分布を表すグラフである。図3(b)において、縦軸は y 方向と一致させており、 y 座標の原点を中心部101aとする。

【0107】

屈折率分布定数を g とし、中心部101aにおける屈折率を n_0 とし、 y 方向の屈折率

分布を以下の(1)式に示された二次関数で定義する。

【0108】

【数1】

$$n(y) = n_0 \left(1 - \frac{g^2 y^2}{2} \right) \quad (1)$$

【0109】

図3(b)において、横軸は屈折率 $n(y)$ であり、縦軸はシート状光伝送路101の y 方向の位置座標である。位置の原点はシート状光伝送路101の中心部101aである。図3(b)から明らかなように、(1)式は上に凸の2次関数で、中心部101aの屈折率が最大屈折率 n_0 であり、中心部101aから y 方向の正負両方向に離れるにしたがって連続的かつ中心対称に屈折率が低下していく屈折率分布である。

【0110】

物理的な光路長を光学的な光路長へ変換するには、屈折率分布の関数を位置で積分すればよい。簡単のために、光路A及び光路Bを伝送する信号光が反射面102において反射する位置は、シート状光伝送路101の最大径の位置であるとする。

【0111】

光路Aの物理的な光路長 L_{1A} に対応する光学的な光路長は、屈折率分布の関数である(1)式を、位置座標 y について $-d/2$ から $d/2$ まで積分したものに等しい。すなわち、光路Aの物理的な光路長 L_{1A} に対応する光学的な光路長は、図3(b)において屈折率分布を表す式(1)のグラフと y 軸とが形成する領域 α の面積に等しい。

【0112】

同様に、光路Bの物理的な光路長 L_{1B} に対応する光学的な光路長は、図3(b)において位置 $d/2$ における屈折率の値 $n(d/2)$ を、位置座標 y について $-d/2$ から $d/2$ まで積分したものに等しい。すなわち、光路Bの物理的な光路長 L_{1B} に対応する光学的な光路長は、図3(b)において矩形の領域 β の面積に等しい。

【0113】

したがって、反射面102により発生した光路A及び光路Bの間の光学的な光路長の差 ΔL は、以下の(2)式で表わす。また、このときの光路Aと光路Bの間に発生する位相差 Δ は、以下の(3)式で表される。

【0114】

【数2】

$$\Delta L = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \left\{ n(y) - n\left(\frac{d}{2}\right) \right\} dy = 2 \int_0^{\frac{d}{2}} \left\{ n(y) - n\left(\frac{d}{2}\right) \right\} dy = \frac{n_0 g^2 d^3}{12} \quad (2)$$

【0115】

【数3】

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L = \frac{n_0 g^2 d^3}{6\lambda} \pi \quad (3)$$

【0116】

上記の位相差 Δ を具体的に数値計算した結果を表1に示す。なお、計算に際して屈折率分布定数 g は、 $d/2$ で中心から1%程度低下する値として設定している。また、中心部101aの屈折率は $n_0 = 1.5$ に設定している。

【0117】

【表 1】

	シート状光伝送路の屈折率分布方向の径 [μm]			
	50	100	200	1000
屈折率分布定数 $g [\text{mm}^{-1}]$	5.6	2.8	1.414	0.28
位相差 Δ [ラジアン]	1.18π	2.35π	4.71π	23.5π

表 1 から明らかなように、反射面 102 において発生する光路 A 及び光路 B の間の位相差は、 π ラジアン以上である。光路 A 及び光路 B の間の位相差をゼロにしなければ、強度分布を維持したまま信号光を出射することができない。

【0118】

そこで、位相差を補償する方法について説明する。はじめに、光路 A を伝送される信号光が反射面 102 に達した位置から、光路 A を伝送される信号光が反射面 103 に達する位置までの物理的距離（以下、伝送長という） L が、満足すべき条件を求める。

【0119】

入射部 104 からシート状光伝送路 101 に入射する信号光及び、シート状光伝送路 101 から出射部 105 へ出射する信号光は、ともに平行光である。また、屈折率分布係数 g が与えられると、シート状光伝送路 101 を伝送する光線は、屈折率分布に従って周期 $2\pi/g$ で蛇行する。

【0120】

したがって、シート状光伝送路 101 で、平行光として入射した信号光を平行光として出射させるためには、伝送長 L を周期 $2\pi/g$ の整数倍にすればよい。すなわち、伝送長 L は、以下の（4）式を満足する必要がある。

【0121】

【数 4】

$$L = \frac{2\pi}{g} j \quad (j = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

【0122】

一方、屈折率分布によって、光路 A の物理的な伝送長 L に対応する光学的な光路長は、光路 B の物理的な伝送長に対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路 101 の全体の光路 A 及び光路 B の間の光学的な光路長の差は、反射面 102 及び反射面 103 のみで発生すると考えてよい。したがって、反射面 102 及び反射面 103 は、光路長差発生部である。

【0123】

したがって、シート状光伝送路 101 の全体の光学的な光路長の差 ΔL_{total} は、反射面 102 に対して計算した（2）式を 2 倍した以下の（5）式の値と等しい。

【0124】

【数 5】

$$\Delta L_{\text{total}} = 2\Delta L = \frac{n_0 g^2 d^3}{6} \quad (5)$$

【0125】

上記（5）式は、光路 A の光学的な光路長が光路 B の光学的な光路長より ΔL_{total} の値だけ大きいことを意味している。したがって、（5）式の値を信号光の波長の整数倍に一致させることにより、光路 A の位相と光路 B の位相との間の差をゼロにすることができる。すなわち、光路 A 及び光路 B の位相差をゼロにする条件は、以下の（6）式で表され

る条件である。

【0126】

【数6】

$$\Delta L_{total} = \frac{n_0 g^2 d^3}{6} = k\lambda \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

【0127】

このように、光路Aと光路Bとの間の位相差は、シート状光伝送路101全体で発生する光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を(6)式を満足するように構成すれば、信号光の波長 λ の自然数倍となる。この結果、光路Aと光路Bとの間の位相差は発生しない。

【0128】

ここで、シート状光伝送路101は、次のように設計される。はじめに、(4)式により伝送長Lを決定する。これにより、屈折率分布定数gが決定される。次に、決定された屈折率分布定数gと、あらかじめ与えられる信号光の波長 λ とを用いて(6)式を調整する。

【0129】

調整するためのパラメータは、中心部101aの屈折率 n_0 及びy方向の厚さdである。調整ができないときは、屈折率分布定数gを変化させて、再び(4)式により伝送長Lを決定する。この最適化計算を繰り返すことにより、所望のシート状光伝送路101を得ることができる。

【0130】

以上のように、第1の実施形態に係る光デバイスは、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、信号光の波長 λ の自然数倍となっている。したがって、光路Aと光路Bとの間の位相差は、光伝送路へ入射する前と光伝送路から出射した後とで等しい。このため、第1の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路に入射した際の波形と、出射する際の波形とを一致させることができる。光伝送路から信号光を損失なく出射することができる。

【0131】

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と直交するので、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。特に、光伝送路へ入射する信号光を発光する発光素子や光伝送路から出射した信号光を受光する受光素子などの光部品と、光伝送路とを結合する際に、光部品を簡単に実装できる。

【0132】

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、光路A及び光路Bは、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を2個含み、2個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和が、信号光の波長の自然数倍に等しい。この構成により、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0133】

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、y方向に信号光を閉じこめ可能なシート状光伝送路を含み、シート状光伝送路がy方向の厚さが半分となる中心部の屈折率が最大で、中心部から第1方向に沿って離れるに従って屈折率が増加しない屈折率分布を有している。この構成により、屈折率分布によってモード分散及び差動分散を発生させることなく、信号光を伝送することができる。

【0134】

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、シート状光伝送路が、z方向と平行でない方向から入射した信号光の光軸を、z方向へ折り曲げるための反射面102と、z方向に伝送した信号光の光軸を、z方向と平行でない方向へ折り曲げるための反射面103とを含んでいる。この場合、反射面102と反射面103とは、光路長差発生部である。

【0135】

この構成により、 z 方向と平行でない方向から光伝送路へ入射される信号光を、簡単に光伝送路へ入射させることができる。また、 z 方向と平行でない方向へ光伝送路から出射される信号光を、簡単に光伝送路から出射させることができる。

【0136】

また、第1の実施形態に係る光デバイスは、シート状光伝送路において、反射面102により信号光のすべてが z 方向へ折り曲げられた位置から、信号光のすべてが反射面103に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の j 倍（ $j=0, 1, 2, 3, \dots$ ）に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで屈折率分布が一致する。

【0137】

（第2の実施形態）

次に、本発明の第2の実施形態を説明する。第2の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第2の実施形態のマルチモード干渉二分岐器200は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、シート状光伝送路201の構成のみが異なる。

【0138】

図4は、本発明の第2の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器200の信号光が伝送される部分の断面図である。図4は、マルチモード干渉二分岐器200を、図1及び図2に示した第1実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の場合と同一の場所で切断した断面図である。図4において、入射部104と、出射部105と、反射面102と、反射面103とは、すべて第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100と等しい構成を持つ。

【0139】

シート状光伝送路201は、 y 方向に屈折率分布を持つ。シート状光伝送路201は、中心部101aが最大屈折率 n_0 である。シート状光伝送路201は、中心部101aを対称面として、(1)式を満足する屈折率分布を持つ。また、シート状光伝送路201は、 y 方向にのみ屈折率分布を持ち、他の方向には屈折率分布を持たない。また、シート状光伝送路201の伝送長 L は、以下の(7)式を満足している。

【0140】

【数7】

$$L = \frac{2\pi}{g}(j+0.5) \quad (j=0, \dots) \quad (7)$$

【0141】

(7)式は、伝送長 L がシート状光伝送路201で光が伝送する際の蛇行周期の（整数+0.5）倍であることを意味している。伝送長 L が、(7)式を満足している場合、光路A及び光路Bの蛇行長が、入射時と比較して半周期だけずれる。

【0142】

このため、光路Aは、反射面102の最も入射部104から遠い側で反射して、 z 方向の正の方向に折り曲げられ、反射面103の最も出射部105に近い側で反射する。同様に、光路Bは、反射面102の最も入射部104から近い側で反射して、 z 方向の正の方向に折り曲げられ、反射面103の最も出射部105から遠い側で反射する。

【0143】

ここで、物理的な光路長 L_1A と、 L_2A と、 L_1B と、 L_2B とを第1の実施形態の場合と等しく定義する。また、伝送長 L も第1の実施形態の場合と等しく定義する。第2の実施形態の場合、光路Aの物理的な光路長 L_1A に対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な光路長 L_1B と等しい。また、光路Aの物理的な光路長 L_2A に対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な光路長 L_2B と等しい。

【0144】

一方、屈折率分布による光路Bの物理的な伝送長と光路Aの物理的な伝送長との差は、ゼロとなる。このように、光路Aと光路Bとの間の位相差は、シート状伝送路201の伝送長Lを(7)式を満足するように設定すると、ゼロになる。

【0145】

【数8】

$$\Delta L_{total} = 0 \quad (8)$$

【0146】

すなわち、光路Aの物理的な光路長と、光路Bの物理的な光路長との差は、ゼロとなる。光学的な光路長の差は、ゼロであるから、光路A及び光路Bの間には位相差は発生しない。このように、光路Aと光路Bとの間の位相差は、シート状伝送路201の伝送長Lを(7)式を満足するように設定すると、ゼロになる。

【0147】

以上のように、第2の実施形態に係る光デバイスは、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。したがって、光路Aと光路Bとの間の位相差は、光伝送路へ入射する前と光伝送路から出射する際の波形とを一致させることができる。

【0148】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と直交するので、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。この構成により、光伝送路から出射した信号光を、光部品を簡単に結合することができる。

【0149】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と直交するので、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。この構成により、光伝送路から出射した信号光を、光部品を簡単に結合することができる。

【0150】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と直交するので、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。この構成により、光伝送路から出射した信号光を、光部品を簡単に結合することができる。

【0151】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と直交するので、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。この構成により、光伝送路から出射した信号光を、光部品を簡単に結合することができる。

【0152】

この構成により、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と直交するので、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。この構成により、光伝送路から出射した信号光を、光部品を簡単に結合することができる。

【0153】

また、第2の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と直交するので、外部と光伝送路とを簡単に結合することができる。この構成により、光伝送路から出射した信号光を、光部品を簡単に結合することができる。

光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路長と、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を ΔL_{total} とすると、以下の(8)式が成り立つ。

光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路長と、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を ΔL_{total} とすると、以下の(8)式が成り立つ。

光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路長と、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を ΔL_{total} とすると、以下の(8)式が成り立つ。

光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路長と、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を ΔL_{total} とすると、以下の(8)式が成り立つ。

光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路長と、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を ΔL_{total} とすると、以下の(8)式が成り立つ。

光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路長と、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を ΔL_{total} とすると、以下の(8)式が成り立つ。

光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路長と、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を ΔL_{total} とすると、以下の(8)式が成り立つ。

光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路長と、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を ΔL_{total} とすると、以下の(8)式が成り立つ。

光路Aの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長は、光路Bの物理的な伝送長Lに対応する光学的な光路長と等しい。したがって、シート状光伝送路201の全体の光路長と、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなる。第1の実施形態の場合と同様に、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差を ΔL_{total} とすると、以下の(8)式が成り立つ。

3に入射する直前の位置までの物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $(j+0.5)$ 倍($j=0, 1, 2, 3 \dots$)に等しい。この構成により、信号光は入射側と出射側とで強度分布が一致する。

【0154】

(第3の実施形態)

次に、本発明の第3の実施形態を説明する。第3の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第3の実施形態のマルチモード干渉二分岐器300は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、入射部304と、出射部305と、シート状光伝送路301との構成が異なる。

【0155】

図5は、本発明の第3の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器300の信号光が伝送される部分の断面図である。図5は、マルチモード干渉二分岐器300を、図1及び図2に示した第1実施形態に係るマルチビーム干渉二分岐器100の場合と同一の場所で切断した断面図である。

【0156】

シート状光伝送路301は、y方向に屈折率分布を持つ。シート状光伝送路301は、中心部101aが最大屈折率 n_0 である。シート状光伝送路301は、中心部101aを対称面として、(1)式を満足する屈折率分布を持つ。また、シート状光伝送路301は、y方向にのみ屈折率分布を持ち、他の方向には屈折率分布を持たない。

【0157】

シート状光伝送路301において、入射部304から入射する信号光は、反射面102上の、シート状光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光される。すなわち、入射部304のy方向の長さを適切に設定することにより、信号光を、反射面102上の、シート状光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

【0158】

また、シート状光伝送路301において、出射部305から出射する信号光は、反射面103上の、シート状光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光された後、出射部105から出射する。すなわち、出射部305のy方向の長さを適切に設定することにより、信号光を、反射面103上の、シート状光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

【0159】

さらに、シート状光伝送路301は、このとき、シート状光伝送路301の反射面102から反射面103までの中心部101aにおける物理的な光路長 L_{R-R} は、以下の(9)式の関係満足している。

【0160】

【数9】

$$L_{R-R} = \frac{2\pi}{g} \cdot \frac{j}{2} \quad (j=0,1,2,3,\dots) \quad (9)$$

【0161】

(9)式は、物理的な光路長 L_{R-R} が、シート状光伝送路301内を蛇行する信号光の光路の蛇行周期の半整数倍と等しいことを意味している。(9)式を満足するように、物理的な光路長 L_{R-R} を設定すると、反射面102上でx方向に平行な線状に集光した信号光は、反射面103上にx方向に平行な線状に再び集光する。

【0162】

したがって、反射面101と反射面102との間には、yz平面に平行な面内で光学的には共役関係が成立する。このとき、光路Aが感じる屈折率は、光路Bが感じる屈折率は完全に一致するので、光路A及び光路Bの間には、位相差は発生しない。このように、光路Aと光路Bとの間の位相差は、シート状伝送路301の物理的な光路長 L_{R-R} を、(9)

) 式を満足するように設定すると、ゼロになる。

【0163】

以上のように、第3の実施形態に係る光デバイスは、シート状光伝送路301を伝送される複数の光路のうち、光路Aと光路Bとの間の光学的な光路長の差は、ゼロとなっている。したがって、光路Aと光路Bとの間の位相差は、光伝送路へ入射する前と光伝送路から出射した後とで等しい。このため、第3の実施形態に係る光デバイスは、光伝送路に入射した際の波形と、出射する際の波形とを一致させることができ、光伝送路から信号光を損失なく出射することができる。

【0164】

また、第3の実施形態に係る光デバイスは、光路A及び光路Bは、光学的な光路長差が発生する部分を持たない。この構成により、光路A及びBの位相差をゼロにすることができる。

【0165】

また、第3の実施形態に係る光デバイスは、上述のシート状光伝送路は、反射面102と、反射面103とを含み、中心部101aにおける反射面102と反射面103との間の物理的な光路長が、屈折率分布に基づいて蛇行して伝送される光路の蛇行周期の $j/2$ 倍($j=0, 1, 2, 3, \dots$)に等しく、信号光は、第1反射面及び第2反射面上の、光伝送路の第1方向の厚さの半分となる中心部で、y方向及びz方向に共に直交するx方向に平行な線状に集光される。

【0166】

この構成により、中心部における第1反射面と第2反射面との間が、光学的に共役関係となる。このため、第1反射面と第2反射面との間で、二つの光路は、光学的な光路長差が発生する部分を持たない。したがって、二つの光路の位相差をゼロにすることができる。

【0167】

(第4の実施形態)

次に、本発明の第4の実施形態を説明する。第4の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相異なる部分のみ説明する。第4の実施形態のマルチモード干渉二分岐器400は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、入射部404は、出射部405及び出射部406と、シート状光伝送路401との構成が異なる。

【0168】

図6(a)は、本発明の第4の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器400の信号光が伝送される部分の断面図である。図6(a)は、マルチモード干渉二分岐器400を、図1及び図2に示した第1の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の場合と同一の場所とで切断した断面図である。なお、図中、屈折率分布は省略している。

【0169】

シート状光伝送路401は、外部から入射した信号光をy方向に閉じこめ、z方向(伝送方向)に伝送可能である。シート状光伝送路401は、z方向の両端に反射面402及び反射面403を持つ。

【0170】

入射部404は、シート状光伝送路401へ入射する信号光の光軸が、z方向と平行でなく、所定の鋭角をなすように構成される。また、出射部405は、シート状光伝送路401から出射する信号光の光軸が、z方向と平行でなく、所定の鋭角をなすように構成される。

【0171】

反射面402は、入射部404を伝送しz方向と所定の鋭角をなす方向からシート状光伝送路401へ入射する信号光の光軸をz方向に折り曲げるよう配置されている。反射面403は、シート状光伝送路401を伝送しz方向と所定の鋭角をなす方向へ信号光を折り曲げるよう配置されている。

【0172】

シート状光伝送路401において、入射部404から入射する信号光は、反射面402上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光される。すなわち、入射部404の構成を適切に設定することにより、信号光を、反射面402上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

【0173】

また、シート状光伝送路401において、出射部405から出射する信号光は、反射面403上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光された後、出射部405から出射する。すなわち、出射部405の構成を適切に設定することにより、信号光を、反射面403上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

【0174】

このように、第4の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器400は、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と平行でなく、所定の鋭角をなしている。したがって、発光素子111と受光素子112との配置レイアウトの自由度を向上させることができる。

【0175】

なお、第4の実施形態において、第1の実施形態及び第2の実施形態で説明したように、シート状光伝送路401の信号光の光路Aと光路Bとの位相差を計算し、その位相差を信号光の波長の自然数倍やゼロとしてもよい。このようにしても、光路Aと光路Bとの位相差をゼロにすることができる。

【0176】

(第5の実施形態)

次に、本発明の第5の実施形態を説明する。第5の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第5の実施形態のマルチモード干渉二分岐器500は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、入射部504と、出射部505及び出射部506と、シート状光伝送路501との構成が異なる。

【0177】

図6(b)は、本発明の第5の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器500の信号光が伝送される部分の断面図である。図6(b)は、マルチモード干渉二分岐器400を、図1及び図2に示した第1実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器100の場合と同一の場所で切断した断面図である。なお、図中、屈折率分布は省略している。

【0178】

シート状光伝送路501は、外部から入射した信号光をy方向に閉じこめ、z方向(伝送方向)に伝送可能である。シート状光伝送路501は、z方向の両端に反射面502及び反射面503を持つ。

【0179】

入射部504は、シート状光伝送路401へ入射する信号光の光軸が、z方向と平行でなく、所定の鈍角をなすように構成される。また、出射部505は、シート状光伝送路501から出射する信号光の光軸が、z方向と平行でなく、所定の鈍角をなすように構成される。

【0180】

反射面502は、入射部504を伝送しz方向と所定の鈍角をなす方向からシート状光伝送路501へ入射する信号光の光軸をz方向に折り曲げるよう配置されている。反射面503は、シート状光伝送路501を伝送しz方向と所定の鈍角をなす方向へ信号光を折り曲げるよう配置されている。

【0181】

シート状光伝送路501において、入射部504から入射する信号光は、反射面502上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光される。すなわち

、入射部504の構成を適切に設定することにより、信号光を、反射面502上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

【0182】

また、シート状光伝送路501において、出射部505から出射する信号光は、反射面503上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光された後、出射部505から出射する。すなわち、出射部505の構成を適切に設定することにより、信号光を、反射面503上の、シート光伝送路の中心部101aで、x方向に平行な線状に集光することができる。

【0183】

シート状光伝送路501は、このとき第3の実施形態において説明した(9)式を満足している。したがって、反射面502と反射面503との間には、yz平面に平行な面で光学的には共役関係が成立する。このとき、光路Aが感じる屈折率は、光路Bが感じる屈折率は完全に一致するので、光路A及び光路Bの間には、位相差は発生しない。

【0184】

このように、第5の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器500は、光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸が、いずれもz方向と平行でなく、所定の鈍角をなしている。したがって、発光素子111と受光素子112との配置レイアウトの自由度を向上させることができる。

【0185】

なお、第5の実施形態において、第1の実施形態及び第2の実施形態で説明したように、シート状光伝送路501の信号光の光路Aと光路Bとの位相差を計算し、その位相差を信号光の波長の自然数倍やゼロにしてもよい。このようにしても、光路Aと光路Bとの位相差をゼロにすることができる。

【0186】

(第6の実施形態)

図7(a)は、本発明の第6の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器600の信号光が伝送される部分の断面図である。第6の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第6の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器600は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、出射部に相当する構成を備えていない点のみ相違する。なお、図中、屈折率分布は省略している。

【0187】

図7(a)において、第6の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器600は、入射部104と、シート状光伝送路601とを備える。シート状光伝送路601は、入射側の構成は、第1実施形態に係るシート状光伝送路101と等しい。一方、出射側において、信号光は、出射側からシート状光伝送路601の端面からz方向に出射される。

【0188】

したがって、シート状光伝送路601において、光路長差発生部は反射面102しかない。よって、反射面102において発生した光路Aと光路Bとの位相差を、信号光の波長の整数倍とすることにより、位相差をゼロにすることができる。

【0189】

(第7の実施形態)

図7(b)は、本発明の第7の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器700の信号光が伝送される部分の断面図である。第7の実施形態では第1の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第7の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器700は、図1に示したマルチモード干渉二分岐器100と概略等しい構成を備えており、入射部に相当する構成を備えていない点のみ相違する。なお、図中、屈折率分布は省略している。

【0190】

図7(b)において、第7の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器700は、入射

部104と、シート状光伝送路701とを備える。シート状光伝送路701は、出射側の構成は、第1実施形態に係るシート状光伝送路701と等しい。一方、入射側において、信号光は、入射側からシート状光伝送路701の端面からz方向に入射される。

【 0 1 9 1 】

したがって、シート状光伝導体において発生した光路Aと光路Bとの位相差を、信号光の波長の整数倍とすることにより、位相差をゼロにすることができると考えられる。

【 0 1 9 2 】

(第 8 の実施形態)

次に、図 8 (a) を参照し、本発明の第 8 の実施形態を説明する。第 8 の実施形態では第 1 の実施形態と同一部分については説明を省略し、相違部分のみ説明する。第 8 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 800 は、図 1 に示したマルチモード干渉二分岐器 100 と概略等しい構成を有しており、出射部が相当する構成がない点及び中間入出射部が存在する点が異なる。なお、図中、屈折率分布は省略している。

【0 1 9 3】

第 8 の実施形態に係るマルチモード干渉二分岐器 800 は、入射部 104 と、シート状光伝送路 801 と、中間入出部 820 とを備える。シート状光伝送路 801 は、入射側シート状光伝送路 101 と等しい。一方、出射側において、光伝送路 801 の端面から z 方向に出射される。

【0194】

中間入射部 820 は、入射部 813 と、反射面 815 と、入射部 814 と、処理部 816 と、中間入射部 817 と、反射面 818 と、を含む。

【 0 1 9 5 】

反射面 813 は、 z 方向の方向に沿って傾ける信号光を、 z 方向の負方向へ折り曲げるように、 z x 平面に対して、 5° の角度を有する反射面である。

【0196】

中間出射部 814 は、x 方向の負方向へ折り曲げられ、信号光の光軸を、z 方向の正方向へ折り

【 0 1 9 7 】

処理部 816 は、入射した光を光学フックで処理する。例えば、偏光フィルタやフィルタ等で処理する。また、液晶素子を配置してもよい。この場合、光学スイッチとして機能する。

【0198】

中間入射部 817 は、x 方向に伝播する信号光を y 方向の正方向へ折り曲げる反射面 818 を有する。

【0199】

反射面 819 は、 y 方向の光線に沿って、 z 方向の正方向へ折り曲げられるように、 z x 平面に対して、 5° の角度 θ で反射面である。

【0200】

以上の構成において、発生部810aから発生した信号光は、第1の実施形態と同様に、信号光の光軸は、反射面813でy方向の負方向へ折り曲げられ、反射面814の反射面815で反射して、z方向の正方向へ折り曲げられた信号光の光軸は、処理部816で所定の処理を受け、中間入射部817で反射して、x方向の正方向へ折り曲げられた信号光の光軸は、反射面819によりz方向の正方向へ折り曲げられ、最後にシート光の伝送路の端部から出射される。

【 0 2 0 1 】

シート状光伝送路 801 (図 2) 、光路長さ 1 部は反射面 802 と、反射面 813 と

、反射面819の3面であ
る光路長差の和を、信号
光の波長の整数倍とする
ことにより、光路Aと光
路Bと全体の位相差をゼ
ロにすることができる。

【0202】

また、3面の反射面で発
生することにより、光路A
と光路Bとの光学的な光
路長差の和を、ゼロにす
ることにより、光路Aと光
路Bと全体の位相差をゼ
ロにすることができる。

【0203】

(第9の実施形態)

次に、図8(b)を参照し
て、第9の実施形態及び前
述の実施形態との相違部
分のみ説明する。第9の実
施形態では、図8(b)に示
したマルチモード干渉部
が第1の実施形態と等し
い。

【0204】

シート状光伝送路901
の反射面819と、反射面
813との4面で発生する
光路Aと光路Bとの光学
的な光路長差の和を、信
号光の波長の整数倍とす
ることにより、光路Aと光
路Bと全体の位相差をゼ
ロにすることができる。

【0205】

また、4面の反射面で発
生することにより、光路A
と光路Bとの光学的な光
路長差の和を、ゼロにす
ることにより、光路Aと光
路Bと全体の位相差をゼ
ロにすることができる。

【0206】

(他の実施形態)

第1乃至第9の実施形態
と異なる実施形態では、
位相差を発生させる部
分を求めることが可能であ
る。

【0207】

また、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

【0208】

また、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

【0209】

また、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

【0210】

さらに、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

【0211】

例えば、光学的な光路長
差の和を、信号光の波長
の整数倍とすることによ
り、光路Aと光路Bと全
体の位相差をゼロにす
ることができる。

【0212】

また、3面の反射面で発
生することにより、光路A
と光路Bとの光学的な光
路長差の和を、ゼロにす
ることにより、光路Aと光
路Bと全体の位相差をゼ
ロにすることができる。

また、3面の反射面で発
生することにより、光路A
と光路Bとの光学的な光
路長差の和を、ゼロにす
ることにより、光路Aと光
路Bと全体の位相差をゼ
ロにすることができる。

次に、図8(b)を参照し
て、第9の実施形態及び前
述の実施形態との相違部
分のみ説明する。第9の実
施形態では、図8(b)に示
したマルチモード干渉部
が第1の実施形態と等し
い。

また、4面の反射面で発
生することにより、光路A
と光路Bとの光学的な光
路長差の和を、ゼロにす
ることにより、光路Aと光
路Bと全体の位相差をゼ
ロにすることができる。

また、4面の反射面で発
生することにより、光路A
と光路Bとの光学的な光
路長差の和を、ゼロにす
ることにより、光路Aと光
路Bと全体の位相差をゼ
ロにすることができる。

また、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

また、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

また、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

また、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

また、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

また、各実施形態では、
端子111以外の素子でも
よい。また、端子111
から発振した信号光を伝
送する光伝送路の入射部
を配置してもよい。

また、光学的な光路長差が生じる光路長差発生部を n 個($n=2, 3, 4 \dots$)含み、 n 個の光路長差発生部で発生する光学的な光路長差の和を、ゼロとしてよい。

【0213】

また、第1乃至2の実施形態では、入射部からシート状光伝送路へは平行光入射するよう構成されているが、発散光あるいは収束光入射でもよく、信号光のシート状光伝送路の中心部に対する対称性が存在すればよい。

【0214】

以上のように、各実施形態の光デバイスは、以下の構成を備えている。
(1) 第1方向(上記では y 方向)に屈折率分布を有する光伝送路(上記では y 方向)に直交する第2方向(上記では x 方向)に伝達可能な光伝送路を備える。
(2) 光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方は、第2方向に平行でない。
(3) 複数の光路の内、信号光の光軸に対して、対称に光伝送路へ入射する二つの光路は、光伝送路へ入射する位相差と光伝送路から出射する位相差とが等しい。

【0215】

各実施形態に係る光デバイスは、(1)の構成を備えているので、光伝送路が屈折率分布を備えているため、光伝送路を伝送する際にモード分散や差動分散が発生しない。したがって、伝送される信号光の波形のくずれが殆ど発生せず、ギガビットクラスの高周波の信号光をマルチモードで伝送することが可能となる。

【0216】

また、各実施形態に係る光デバイスは、(2)の構成を備えているため、入射部及び出射部は、非平行入射部として機能する。したがって、レーザやセンサーなどの光部品を実装する際に、光部品と光伝送路との間の取付けが容易である。この結果、これらの光部品を簡単に実装することができ、また、光伝送路が基板に実装が可能となるため、光デバイスをコンパクトに構成できる。

【0217】

また、各実施形態に係る光デバイスは、(3)の構成を備えているので、二つの光路は、光伝送路から出射する際に、互に平行に伝達される。

【0218】

特に、各実施形態に係る光デバイスは、(1)の構成を備えているので、光伝送路から出射する信号光の光軸、及び光伝送路へ入射する信号光の光軸、及び光伝送路から出射する信号光の光軸の内、少なくとも一方は、第2方向と直交する場合、例えば、光伝送路へ入射する信号光を光伝送路から出射した信号光と受光素子などの光部品と、光部品を簡単に実装できる。

【0219】

(マルチモード干渉のSelf-Imaging効果)
次に、上記第1乃至第2の実施形態で説明したマルチモード干渉のSelf-Imaging効果について説明する。ここで、図9は、図9に図示した光伝送路100の物理的構成、第1の実施形態の光伝送路100の物理的構成、第2の実施形態の光伝送路100の物理的構成を例として説明する。

【0220】

図9は、第1の実施形態に係るマルチモード干渉器100の構成を表す斜視図である。図10は、第2の実施形態に係るマルチモード干渉器100の部分断面図である。図10は、図9に図示した光伝送路100の物理的構成、第2の実施形態の光伝送路100の物理的構成を例として説明する。なお、図9及び図10において、略した部分については、図10に図示した部分と同一である。

【0221】

図9及び図10において、光伝送路100の物理的構成を例として、光路長を L_1 とする。また、光伝送路100の物理的構成を例として、光路長を L_2 とする。

特許 2004-3055142

での中心部101aに、物理的な光路差が生ずるものとする。

【0222】

図10において、シート状光伝送路101は、x平面に平行な面内で屈折率は一定である。したがって、信号光が光伝送路101aに入射する光路Oは、屈折率分布の影響を受けることなく伝送される。光路Oは、伝送する間に感じる屈折率は一定である。一方、光路Aは、屈折率分布によって刻々変化する。そこで、マルチモード干渉の説明に際しては、光路Oと光路Aの二つの光路について説明することとする。

【0223】

中心部101aに入射する信号光は、一定の屈折率 n_0 の平面内を伝送される。したがって、Self-Imaging効果の適用して L_1 を計算することができる。Self-Imaging効果によれば、以下の(10)式に示す L_π を単位して周期的に伝送される信号光と同一の形状に戻ることが知られている。

【数10】

$$L_\pi = \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} \quad (10)$$

【0224】

入射する信号光の挙動は、Self-Imagingの効果により、x方向の中心位置に入射した信号光は、一定の周期 L_π を周期として同一の波形が得られることが知られている。

【数11】

$$\frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} = \frac{4n_0W^2}{3\lambda} \quad (11)$$

ここで、 n_0 は中心部101aに伝送される信号光の波長 λ に対する屈折率、 W はシート状光伝送路のx方向の大きさ、 λ は伝送される信号光の波長である。

【0225】

このように、Self-Imagingの効果により、シート状光伝送路の伝送路長が、基本モードと1次モードの伝送路長の差となる、という特徴がある。また、Self-Imagingの効果により、信号光の波長 λ と、屈折率 n_0 と、幅方向の大きさ W との関係が、以下の(12)式で表される。

【0226】

また、Self-Imagingの効果により、x方向の中心位置に入射した信号光は、x方向の中心位置を通過する際に、N回に分岐して集光されることになる。この場合、 L_π だけずれた位置になることが知られている。

【0227】

以上より、シート状光伝送路101のx方向の大きさ W の中心位置に入射した信号光が、x方向の中心位置を通過する際に、N回に分岐して集光されるため、物理的な光路差が生ずるものとする。

【数12】

$$L_1 = p \cdot \frac{4}{3} L_\pi \pm \frac{1}{N} \cdot \frac{4}{3} L_\pi = \left(p \pm \frac{1}{N} \right) \cdot \frac{4}{3} L_\pi = \left(p \pm \frac{1}{N} \right) \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{4n_0W^2}{3\lambda} \quad (12)$$

ただし、 p ($p \geq 0$)、 N ($N \geq 1$) は正の数であるから ($p \pm 1/N$ は正の数であるから) 以下の(13)式を適用することが必要である。

【0228】

分岐数が2の場合 (13) 式を適用して以下の(14)式を導出する。 (証明特 2 0 4 ー 3 0 5 5 1 4 2)

13) 式を得る。

【数13】

$$L_1 = \left(p \pm \frac{1}{2} \right) \frac{n_0 W^2}{\lambda} = (2F$$

$$- \frac{1}{2} \left(p \pm \frac{1}{2} \right) (2 \dots) \quad (13)$$

【0229】

(13) 式からわかる
その奇数倍 (1, 3, ...)
号光を分岐することが

【0230】

一方、中心部から離れた
伝送路101内を蛇行し
じる屈折率は均一ではな

【0231】

光路Aにおいて、中心
から小さい方へ進行する
わち、光路Aは、中心部
に従ってz方向に平行と

【0232】

逆に、光路Aにおいて
方から大きい方へ進行す
すなわち、光路Aは、
に従ってz方向に垂直

【0233】

このように、光路Aの
る。この結果、光路Aを
む場合、増大していく。
づく向に進む場合、減

【0234】

シート状光伝送路101
ている。屈折率分布を
のz方向の速度成分と

【0235】

z方向の光の速度成分
。したがって、光路Aは
送路101を構成した

【0236】

このように、光路Aの
る限り、Seeley-I
ため、(13) 式に基
二分岐させて出射させ

【0237】

しかしながら、入射
は、先に説明した原因
成する必要がある。

【0238】

位相差がゼロとなる
おりである。(4) 式

、第1の... 感のため、 $n_0 W^2 / \lambda$ (2λ) を単位とし
) の... した... に出射... 設けることにより、信

に入射... 光Aは、屈折率分布の影響を受けシート状光
伝送する。したがって、光路Aは伝送される信号光が感

1aから... 方... 進む場合、常に屈折率が大きい方か
常に... なる... 大きく... 方向に進行する。すな
aから... 方向に... 場合、中心部101aから離れる
に近づいていく。

101aから... づく... 進む場合、常に屈折率が小さい
、次に... とい... 角が小さくなる方向に進行する。
01aから... 方向に... 場合、中心部101aへ近づい
ていく。... 作用... 返すことにより、光路

常に... 有... 度を... 進行していくことにな
る。... 成に、中心部101aから離れる方向に進
光路Aは... 光の速度は、中心部101aへ近
く。

屈折率分布... 述の... 式を... 二次関数で表され
る。... より、光路Aのz方向の速度成分は、光路O

である... z... 方向の... ないことを意味する
れる... (1... 式... するようにシート状光伝
送路101... 舞う。

れる... 物理... 法... (13) 式を満足す
る... より... されて集光される。この
... により、信号光を

... 号... 完全に整合させるために
及び... 3... がゼロとなるように構

... の... 法... (4) 式で求めたと
... 式に... 加えた以下の(14
... 04-3055142

) 式が得られる。

【数14】

$$L_2 = \frac{2\pi}{g} j + d \quad (j=1, 2, \dots) \quad (14)$$

【0239】

表2は、シート状光伝送路1におけるマルチモード干渉のSelf-Imagingの効果により二分岐する最短の物理的な光路長 L_2 と、図14の具体的計算結果を示す表である。ただし、屈折率 $n_0=1$ で中心から1%程度傾斜するのは、出射部において光伝送路1のy方向の傾斜のそれぞれ1倍・2倍となるシート状光伝送路の傾斜の分離を表す。

【0240】

【表2】

屈折率分布係数 g [mm^{-1}]	伝送路のY方向長さ [μm]	
	60	100
0.28	2.8	4.1
1.17	3.4	4.6
3.3	5.3	7.1
11.2	141	50

表2からわかるように、 L_2 の整数倍であって1.01よりよい。

【0241】

しかしながら、両者の許容幅が L_2 よりされるように、 L_2 の値には、 L_2 を調整した L_2 をほぼ8倍する。

【0242】

以上説明したように、信号光の位相差をSelf-Imagingの効果の条件に一致して光路長とが一致して出射する際に、

【0243】

以上の説明により、物理的な光路長と、物理的な光路長とが一致する。

L_2 と L_1 とを、同時に満足するためには、 L_2 の値を、シート状光伝送路101に採用すればよい。

大きさを調整することが必要である。そこで、伝送方向長さに対する調整をすることが必要である。表2から理解できるように、両者を整合させるための物理的な光路長を調整するとよい。例えば、調整するために必要となる L_1 を得る。

光伝送路1は、屈折率分布に直交する方向から入射する信号光を、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果により二分岐可能な物理的な信号光の伝送路101の干渉により二分岐し、出射することができる。

この場合、反射面で発生した位相差を補償するSelf-Imagingの効果の条件に基づく入射した信号光をマルチモード干渉により二分岐する。

出特04-3055142

二分岐して出射する際
きる。

【0244】

なお、以上の例では
示したが、本発明はこ

【0245】

図11(a)～(d)
a)～(d)は、いず

【0246】

図11(a)は、他
る。図11(a)に記
光を、マルチモード干
ut 2から出射する分
置から外れた位置に配
りz軸に平行な線上に
とx方向に間隔を空け

【0247】

図11(b)は、他
る。図11(b)に記
ut 2から入射した信
t 1から出射する場合
x方向の中心を通り
1は、x方向の中心を

【0248】

図11(c)は、他
る。図11(c)に記
ut 2から入射した信
t 1から出射する場合
x方向の中心を通り
1は、入射部Input

【0249】

図11(d)は、他
る。図11(d)に記
ut 2から入射した
utput 1及び入射部
ut 1及び入射部In
置されている。二つ
を通りz軸に平行な

【0250】

図11(a)～(d)
agingの効果の
agingの効果の
図11(a)～(d)
する物理的な光路長
づく物理的な光路長
二分岐して出射する
きる。

【0251】

さらに、上記を
るためのM個の

シート状光伝送路とを損失なく結合することがで

光伝送路101のx方向の対応位置に二分岐させる例を
多岐に分岐されない。

光伝送路の入出力構成の例を示す模式図である。図11 (a)～(d)は、光伝送路のzx平面に平行な面からみた図である。

図11(a)は、マルチモード干渉を利用した光デバイスの模式図であ
る。この光デバイスは、一つの入射部Input 1から入射した信号
光を、二つの出射部Output 1及び出射部Output 2から出射する
構成である。入射部Input 1は、光デバイスのz方向の中心位
置に配置されている。出射部Output 1は、入射部Input 1を通
りx方向の中心を通りz軸に平行な線上に配置されている。出射部Output 2は、出射部Output 1とx方向に間隔を空けて配置されている。

図11(b)は、マルチモード干渉を利用した光デバイスの模式図であ
る。この光デバイスは、二つの入射部Input 1及び入射部Input 2から入射した信号光を、マルチモード干渉により合成して一つの出射部Output 1から出射する構成である。入射部Input 1及び入射部Input 2は、x方向の中心を通りz軸に平行な線上に配置されている。出射部Output 1は、入射部Input 1及び入射部Input 2のx方向の中心を通りz軸に平行な線上に配置されている。

図11(c)は、マルチモード干渉を利用した光デバイスの模式図であ
る。この光デバイスは、二つの入射部Input 1及び入射部Input 2から入射した信号光を、マルチモード干渉により合成して一つの出射部Output 1から出射する構成である。入射部Input 1及び入射部Input 2は、x方向の中心を通りz軸に平行な線上に配置されている。出射部Output 1は、入射部Input 1及び入射部Input 2のx方向の中心を通りz軸に平行な線上に配置されている。

図11(d)は、マルチモード干渉を利用した光デバイスの模式図であ
る。この光デバイスは、二つの入射部Input 1及び入射部Input 2から入射した信号光を、マルチモード干渉により合成して二分岐して二つの出射部Output 1及び出射部Output 2から出射する構成である。入射部Input 1及び入射部Input 2は、x方向の中心を通りz軸に平行な線上に配置されている。出射部Output 1及び出射部Output 2は、x方向の中心を通りz軸に平行な線上に配置されている。

図11(a)～(d)は、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果を説明するための模式図である。ここで、マルチモード干渉のSelf-Imagingの効果を説明するために、物理的な光路長と対称性をとよい。これにより、光デバイスの入射部と出射部の位置関係が、発生した位相差を補償するSelf-Imagingの効果を条件に基
て、入射した信号光が、マルチモード干渉により二分岐して出射する構成とを損失なく結合することがで

に図11(a)～(d)は、マルチモード干渉へ信号光を入射する入射部Input 1及び入射部Input 2から信号光を出射する出射部Output 1及び出射部Output 2の位置関係を示す模式図である。

図11(a)～(d)は、マルチモード干渉へ信号光を入射する入射部Input 1及び入射部Input 2から信号光を出射する出射部Output 1及び出射部Output 2の位置関係を示す模式図である。

するためのN個の光伝送路の入射部と出射部を結合する光伝送路。

【0252】

また、以上の何れの実施形態に係る。

【0253】

以上のように、

(1) 第1方向に伝送可能であり、第1方向に伝送可能なシート状光伝送路へ、

(2) 光伝送路へ、

(3) 光伝送路へ、

を備えており、

(4) M個の光伝送路と平行でない光伝送路を含む。

(5) 非平行光伝送路の内、信号光の光軸がシート状光伝送路の光軸と異なる。

(6) M個の光伝送路の

Imaginary part

【0254】

実施形態に係る光伝送路を伝送される信号光の波形の歪みを低減することが可能。

【0255】

また、実施形態に係る光伝送路は、レーザやセンサ等の光デバイスと容易である。また、光伝送路は、気用基板上に形成される。

【0256】

また、実施形態に係る光伝送路は、二つの光路を伝送する。

【0257】

また、実施形態に係る光伝送路は、二つの光路を伝送する。

【産業上の利用可能性】

【0258】

本発明の光伝送路は、マルチモード干渉光分岐器を含む。

【図面の簡単な説明】

【0259】

【図1】(a)は、光伝送路の斜視図。(b)は、光伝送路の平面図。

【図2】は、光伝送路の斜視図。

伝送される信号光の光軸と異なる。

【図3】は、光伝送路の斜視図。

の、光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

のシート状光伝送路を伝送するが、第2及び第3方向に伝送可能である。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

信号光を第1方向に伝送する第2方向に伝送可能なシート状光伝送路。

ための入射部(1, 2, ...)の入射部

ための出射部(1, 2, 3, ...)の出射部

は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

部又は出射部を伝送する信号光の複数の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

光伝送路は、光伝送路の光軸と異なる。また、マルチモード干渉により入射光の光軸と異なる。

D-G-I.3を
率分布を求めグラフ

【図4】 図2の
る部分の断面図

【図5】 日 3
伝送され

【図6】
の信号光が

【図7】

の信号光
チモード

【図8】
の信号光

【図9】

【图 10】

【0260】

光伝送路

102, 40 . -

103, 40

813, 814

104, 40

105, 40

断面、(c) (d) 一対の光伝送路 101 の屈折

0 (1) の信号光が伝送され

係、歩、支器300の信号光が

干渉二分岐器 400
実施形態に係るツル

光が、われわれの生活に、
のちのち、美施形態に係るマル
のト、面、

一 干渉二分岐器 600
二 実施形態に係るマル

光分路器 2. 面 面
安 係 干涉二分岐器 8 0 0

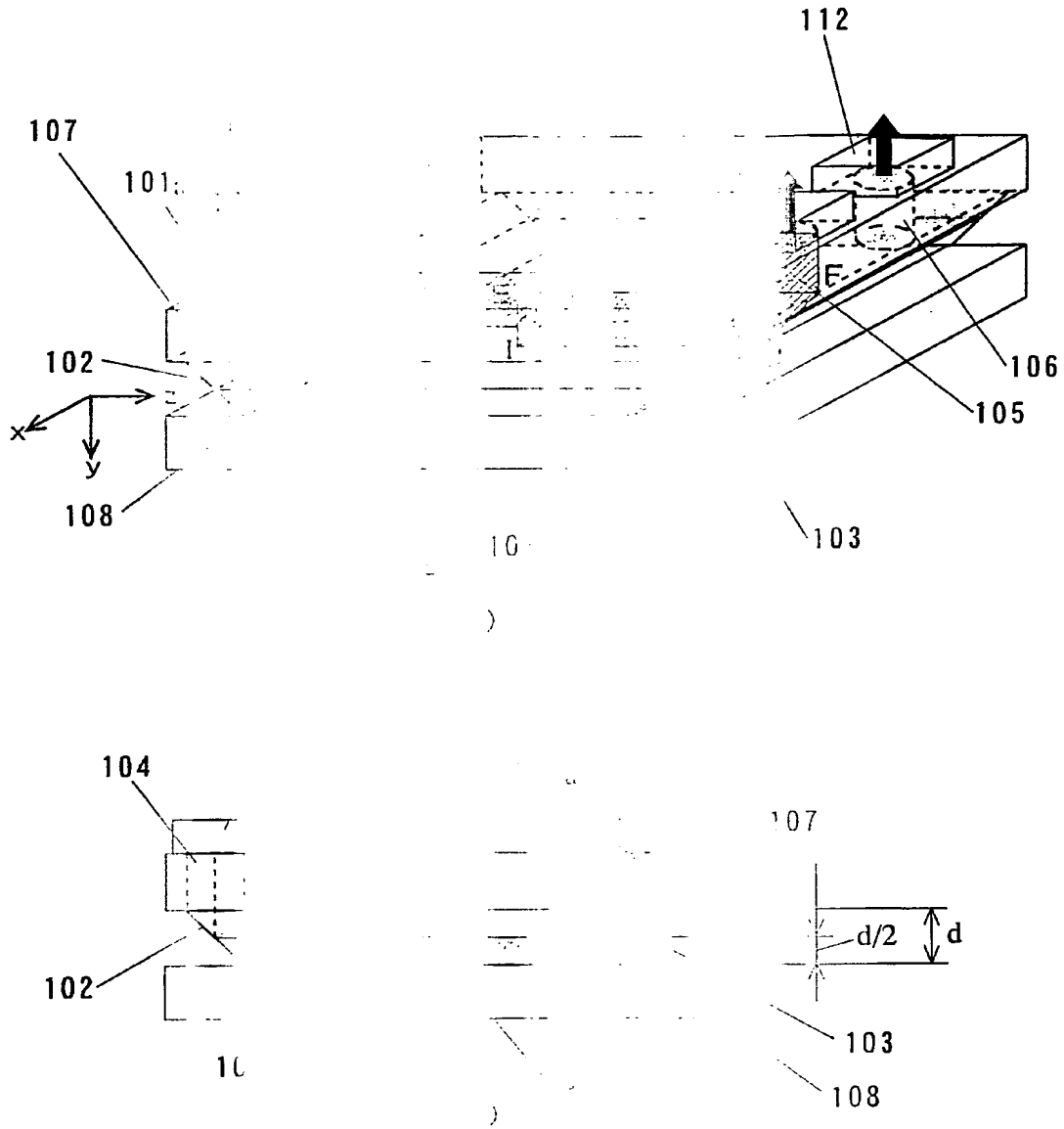
実施形態に係るマル

「」の構成を表す斜視図

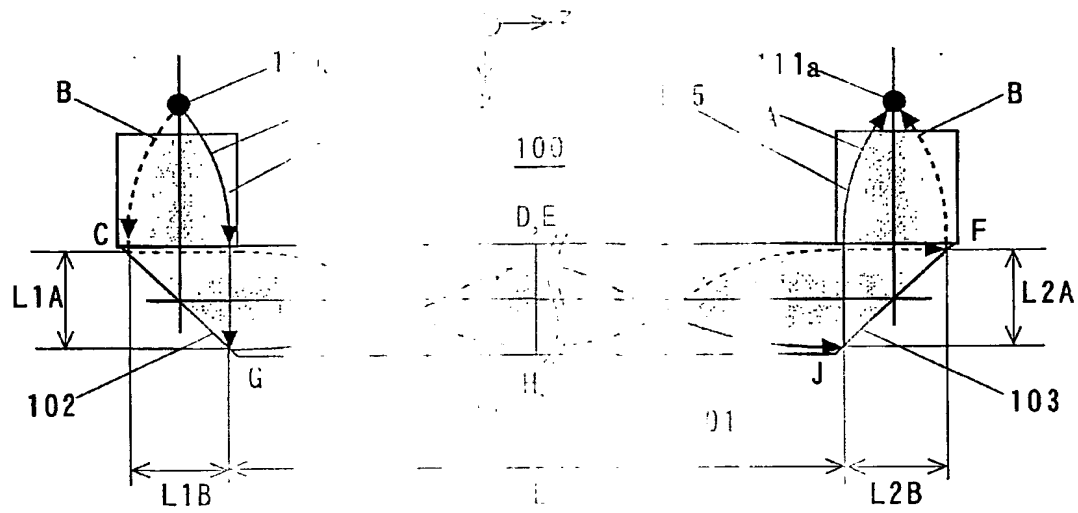
部分断面図
を示す模式図

1, 901 シート状

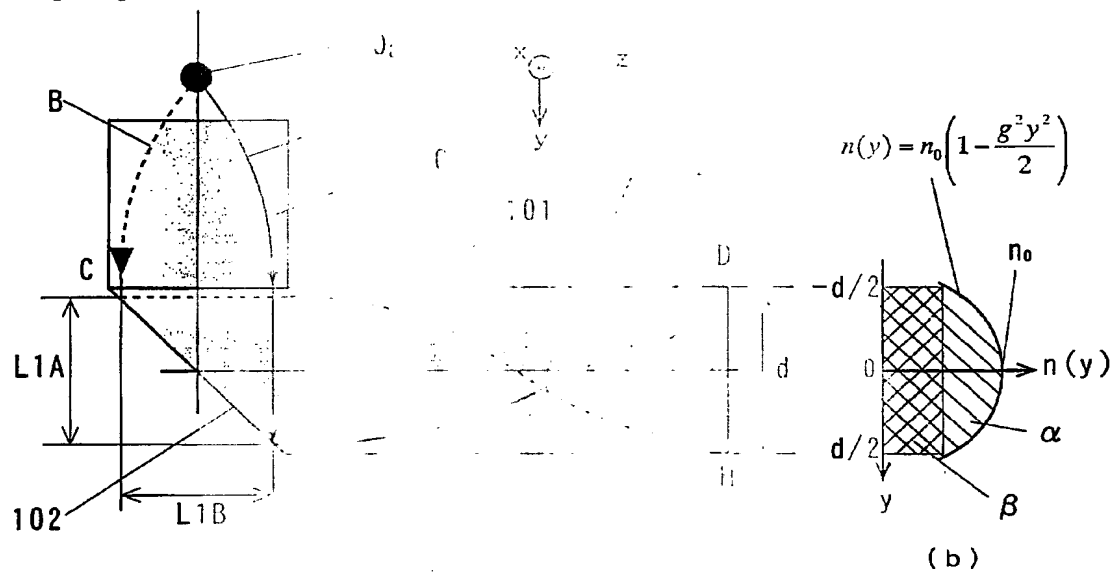
【書類名】図
【図1】



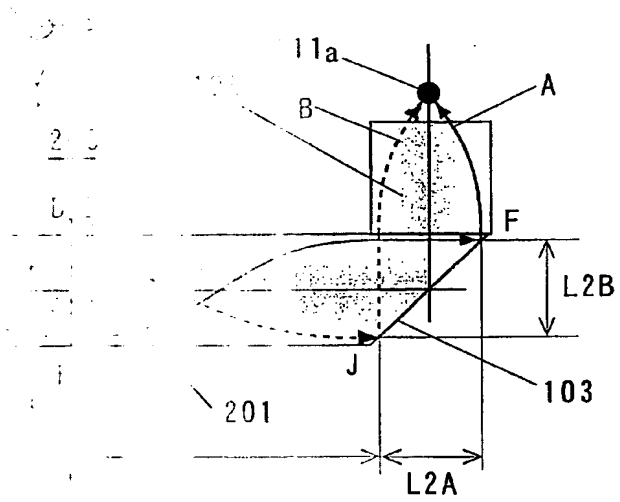
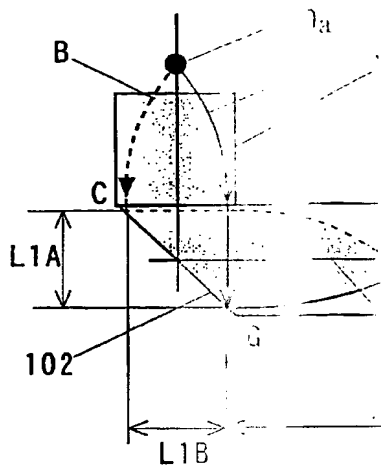
【図 2】



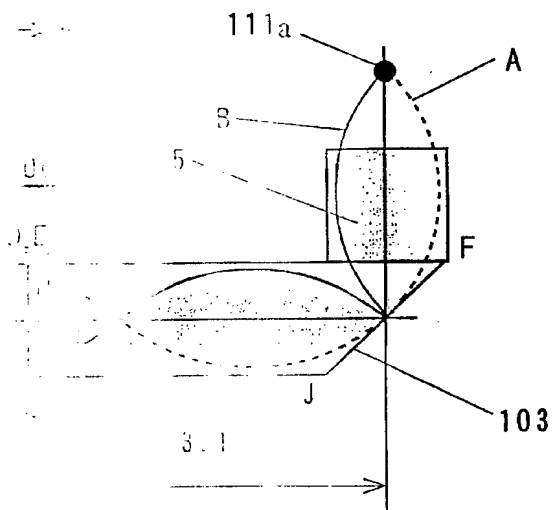
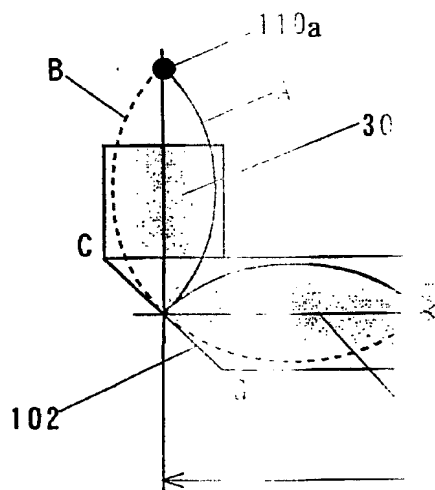
【圖 3】



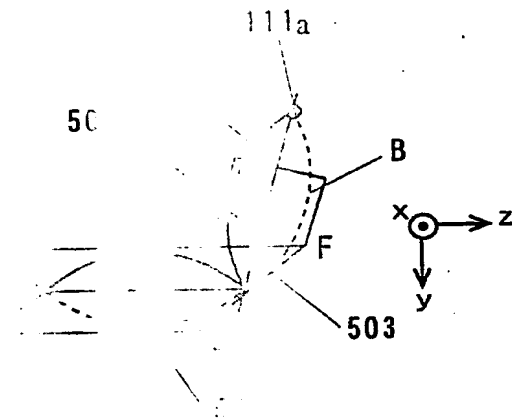
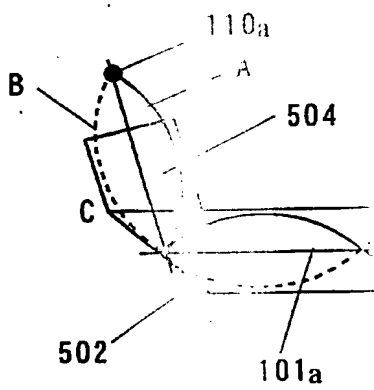
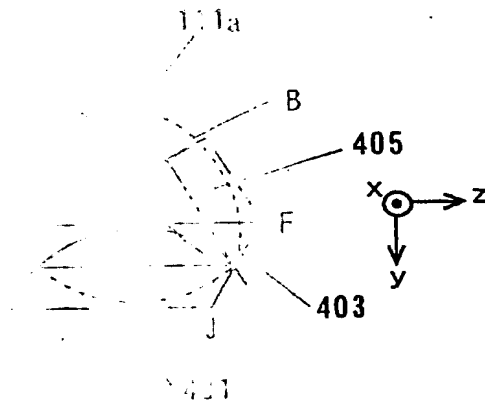
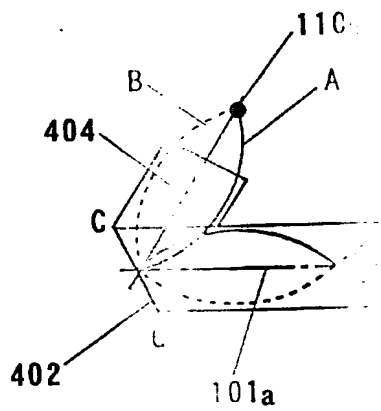
【図 4】



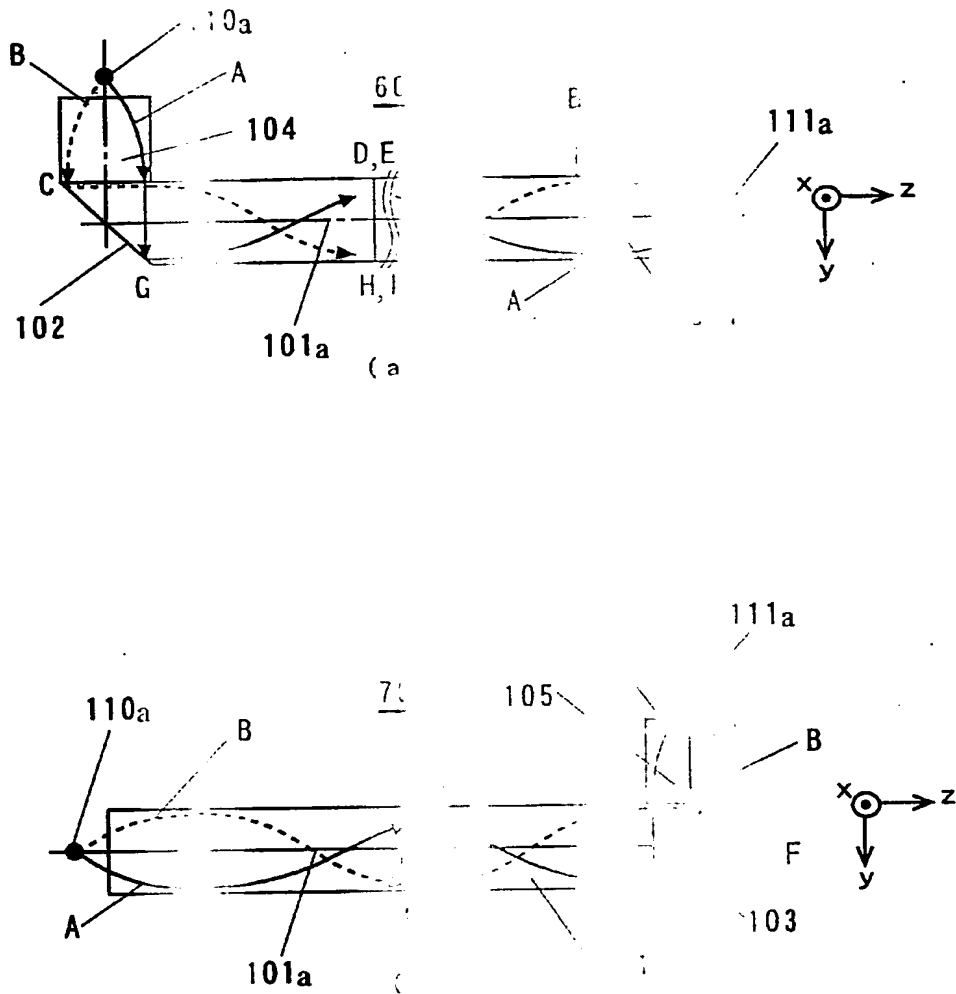
【図 5】



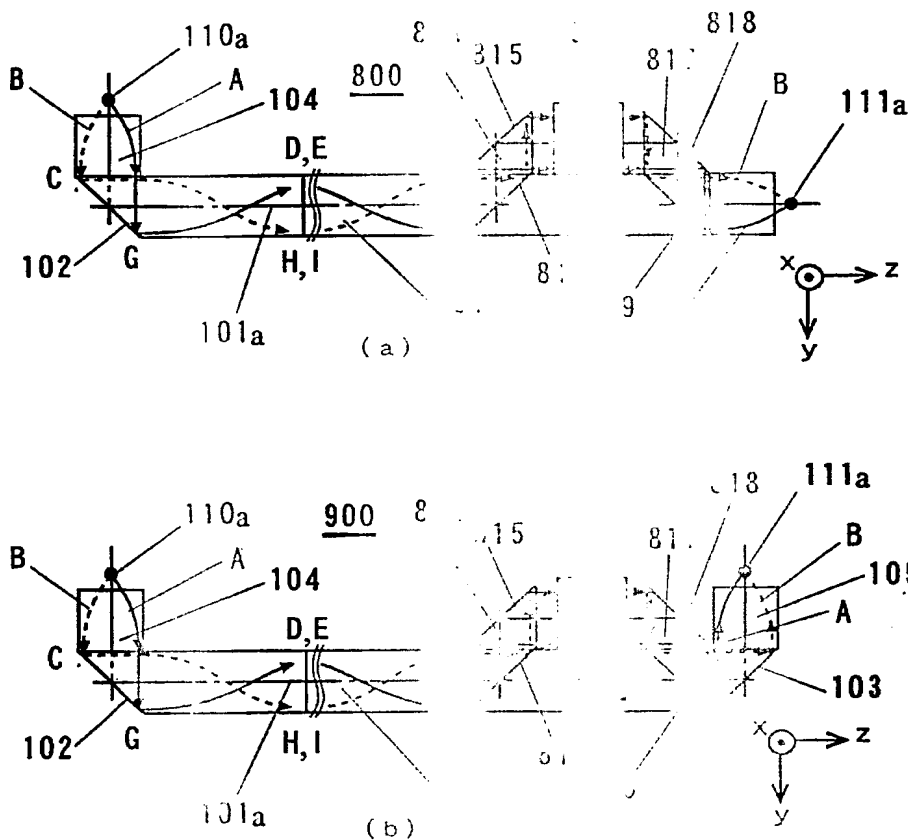
【図 6】



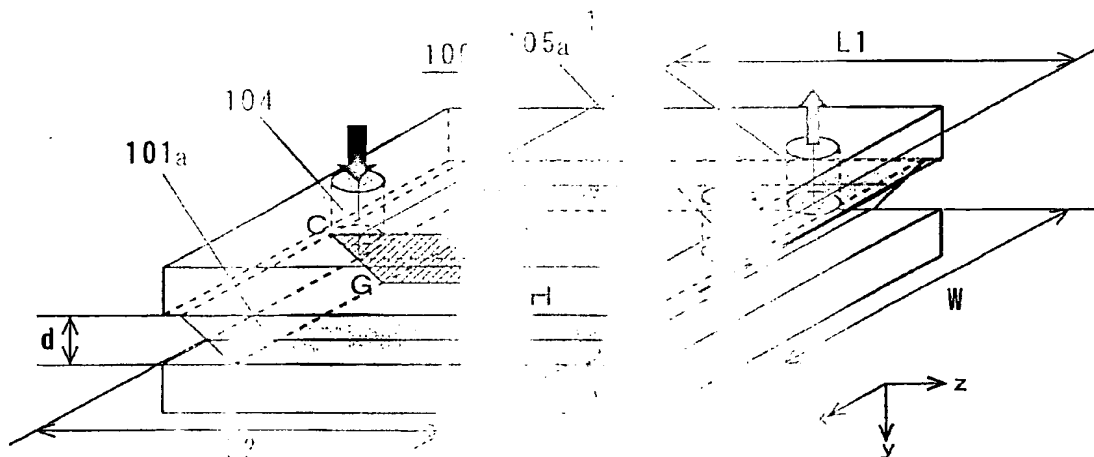
【図 7】



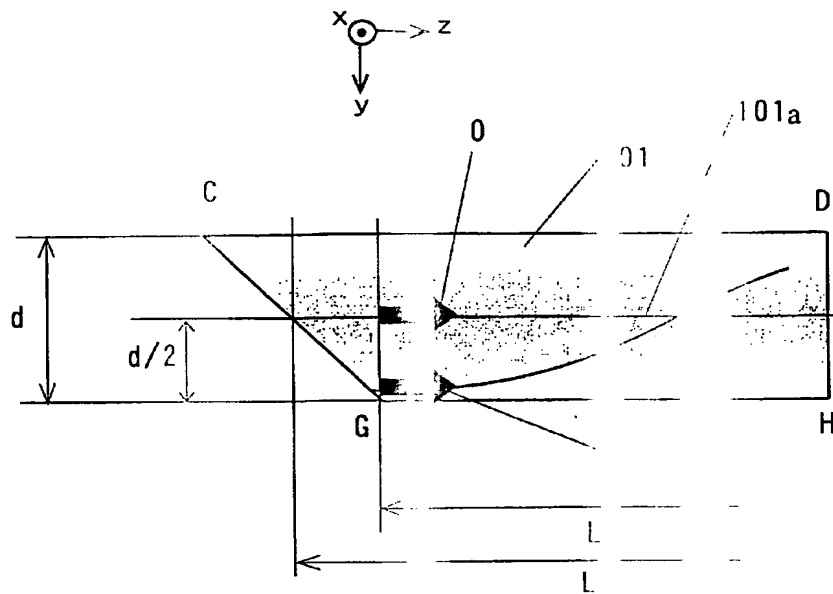
【図8】



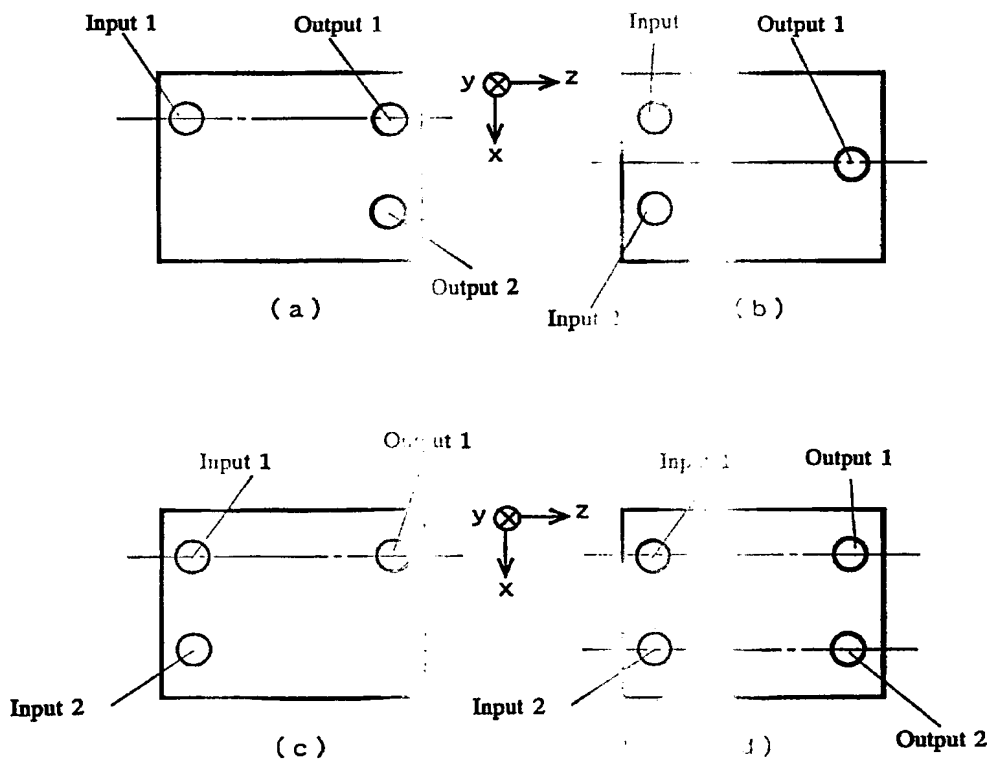
【図9】



【図 10】



【図 11】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 入出射部の光部品の実装が容易であり、マルチモードでギガビットクラスの高速度伝送が可能な光伝送路を有する光デバイスを提供する。

【解決手段】 外部から入射する信号光を伝送し、伝送した信号光を外部へ出射する光デバイスであって、 y 方向に屈折率分布を含み、 z 方向に信号光を伝送可能なシート状光伝送路101を備え、シート状光伝送路101へ入射する前記信号光の光軸、及び前記光伝送路から出射する信号光の光軸は、いずれも z 方向に直交している。光路A及び光路Bは、光伝送路へ入射する位相差と前記光伝送路から出射する位相差とが等しい。

【選択図】 図2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2004-017655
受付番号	5040012637
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成16年 1月27

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成16年 1月26日

特願 2004-017655

出願人履歴情報

識別番号

[000005821]

1. 変更年月日

1990年 8月28日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真1006番地

氏 名

松下電器産業株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.